

Reproducción de Animales Domésticos

Compiladores:
Carlos Galina • Javier Valencia



LIMUSA

3a. edición

Reproducción de animales domésticos

Tercera edición

COMPILADORES

Carlos Galina

Javier Valencia

Paulo Bayard
Joaquín Becerril
Gabriel Bo
Myriam Boeta
Daniel Cavestany
Alberto Delgadillo
Sandra Estrada
José Carlos Ferrugem
Martina Fritsch
Carlos Galina
Carlos Gutiérrez
Henry Grajales
Joel Hernández
Marilise Mesquita Horn
Lourdes Juárez
Arantzazu Lassala

Ysabel Márquez
Rafael Molina
Martha Olivera
Óscar Ortiz
Rosa Páramo
Raquel Pérez
Antonio Porras
Claudio Pimentel
Lucía Rangel
Juan José Romero
Adriana Saharrea
Humberto Tribulo
María Elena Trujillo
Javier Valencia
Luis Zarco

Galina, Carlos

Reproducción de animales domésticos / Carlos Galina.

-- 3a. ed. -- México : Limusa, 2008.

582 p. : il. ; 25.5 x 17 cm.

ISBN-13: 978-968-18-7132-1

Rústica.

1. Reproducción animal

I. Valencia, Javier, colab.

Dewey: 636 | 22 / G158r

LA PRESENTACIÓN Y DISPOSICIÓN EN CONJUNTO DE

REPRODUCCIÓN DE ANIMALES DOMÉSTICOS

SON PROPIEDAD DEL EDITOR. NINGUNA PARTE DE ESTA OBRA PUEDE SER REPRODUCIDA O TRANSMITIDA, MEDIANTE NINGÚN SISTEMA O MÉTODO, ELECTRÓNICO O MECÁNICO (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, LA GRABACIÓN O CUALQUIER SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN), SIN CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL EDITOR.


DERECHOS RESERVADOS:

© 2008, EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.

GRUPO NORIEGA EDITORES

BALDERAS 95, MÉXICO, D.F.

C.P. 06040

 51 30 0700

 55 12 2903

 limusa@noriega.com.mx

 www.noriega.com.mx

CANIEM NÚM. 121

TERCERA EDICIÓN

HECHO EN MÉXICO

ISBN-13: 978-968-18-7132-1



Esta es la tercera edición del libro *Reproducción de animales domésticos*, el cual fue publicado por primera vez en 1986. Es muy obvio que la ciencia animal ha sufrido una gran cantidad de modificaciones a través de todo este tiempo, pero en especial el fenómeno de la globalización ha permitido aprender de otros con una rapidez inusitada. Es por ello que para esta tercera edición se invitaron a distinguidos colegas de América Latina para que participaran en la modificación y expansión de los capítulos originales con el fin de que el estudiante de la ciencia animal se beneficie de diversas experiencias a nivel regional, lo cual enriquecerá sus horizontes profesionales.

La obra se escribió tomando en cuenta la estructura original, y como base para los nuevos capítulos, las anteriores colaboraciones, y utilizando como modelo al bovino, por ser el más estudiado de los animales de producción aun hoy en día. Sin embargo estamos conscientes de la importancia creciente de otras especies dedicadas a la producción pecuaria expandiendo los capítulos referentes a ello. Asimismo, es innegable la importancia que han alcanzado los animales de compañía, y su estudio también ha sido ampliado y actualizado.

La obra pretende ser un libro de consulta para los estudiantes de medicina veterinaria, pero puede ser de utilidad para estudiantes de agronomía, biología y ciencias naturales.

El libro tiene tres secciones. La primera contempla desde la diferenciación sexual hasta que el animal completa su ciclo reproductivo creando un nuevo ser. La segunda engloba los procesos que afectan la reproducción tanto de la hembra como del macho, y la última hace referencia a las particularidades reproductivas de las distintas especies descritas en esta obra. Es probable que el lector encuentre duplicidad en ciertas secciones del libro, pero la necesidad de darle fluidez a los capítulos descritos por diversos autores nos impide ser muy estrictos en la labor editorial. El aprendizaje generalmente se obtiene a través de repetición, y por ser esta obra un compendio de diversas opiniones, los compiladores hemos decidido mantener la opinión de los autores hasta donde fue posible.

Compilar un libro es un trabajo interesante, intenso y en ocasiones difícil, pero siempre muy gratificante. Los abajo mencionados agradecemos a las autoridades de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México por el tiempo cedido para completar este trabajo. Asimismo, Carlos Galina agradece a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico su apoyo para que una buena parte de esta obra se gestara en la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional en Heredia, Costa Rica. La ayuda prestada por esta institución para facilitar el trabajo de compilación es un ejemplo de cooperación regional. El tiempo nos ha enseñado que no solamente tenemos los mismos problemas sino posiblemente también las mismas soluciones, y con este libro pretendemos colaborar en la explicación de los mecanismos reproductivos, los cuales son muy particulares pero también muy similares en la mayoría de los países de América Latina.

Finalmente, queremos agradecer a la MVZ Beatriz Meza Gordillo su colaboración en la digitalización de las imágenes, así como en la revisión, corrección y edición de los textos, gráficas y cuadros de todo el libro.

Carlos Galina
Javier Valencia

CONTENIDO

1. DESARROLLO EMBRIONARIO Y DIFERENCIACIÓN SEXUAL	11
Ysabel C. Márquez Carlos Gutiérrez	
2. MORFOFISIOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS GENITALES DEL MACHO Y DE LA HEMBRA	27
Rosa María Páramo R.	
3. GAMETOGÉNESIS	43
Marilise Mesquita Horn Martina Fritsch	
4. ENDOCRINOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN	59
Luis Zarco	
5. PUBERTAD, CICLO ESTRAL Y ESTACIONALIDAD	85
Carlos Gutiérrez Lucía Rangel Arantza Lassala	
6. MANEJO HORMONAL DEL CICLO ESTRAL	117
Carlos G. Gutiérrez Aguilar	
7. TRANSPORTE DE GAMETOS Y FERTILIZACIÓN	127
Ma. de Lourdes Juárez Mosqueda Javier Valencia	
8. IMPLANTACIÓN Y PLACENTACIÓN	159
José Carlos Ferrugem Moraes	
9. GESTACIÓN	171
Martha Olivera José Carlos Ferrugem Moraes	
10. PARTO	181
Daniel Cavestany	

11. PUERPERIO Y ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FOLICULAR POSTPARTO	193
Martha Olivera	
12. EXAMEN DE LA SALUD REPRODUCTIVA Y ALTERACIONES DE LA FERTILIDAD DE LOS TOROS	205
José Carlos Ferrugem Moraes	
13. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL	219
Paulo Bayard Dias Gonçalves	
Javier Valencia	
14. ALTERACIONES DEL MACHO	237
Claudio Pimentel	
15. DISTOCIA	253
Sandra Estrada	
16. ABORTOS	265
Juan José Romero	
Óscar Ortiz	
17. ALTERACIONES DEL APARATO GENITAL DE LA HEMBRA	281
Henry Grajales	
Javier Valencia	
18. ALTERACIONES HORMONALES DE LA HEMBRA	313
Adriana Saharrea	
Javier Valencia	
19. INFERTILIDAD EN LA HEMBRA. SÍNDROMES DE ANESTRO Y FALLA EN LA CONCEPCIÓN	335
Joel Hernández Cerón	
Javier Valencia	
20. BOVINOS PRODUCTORES DE LECHE	355
Daniel Cavestany	
Carlos Galina	
21. BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE	371
Rafael Molina	
Carlos Galina	
22. BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO	389
Sandra Estrada	
Carlos Galina	

23. EQUINOS	403
Ana Myriam Boeta Acosta	
24. CERDOS	435
Joaquín Becerril Ángeles	
María Elena Trujillo Ortega	
25. OVINOS	457
Raquel Pérez-Clariget	
Antonio Porras Almeraya	
26. CANINOS	487
Rosa María Páramo Ramírez	
27. FELINOS	515
Rosa María Páramo Ramírez	
28. CAPRINOS	525
José Alberto Delgadillo	
29. BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS	543
Humberto Tribulo	
Gabriel Bo	
ÁCERCA DE LOS AUTORES	575



La presente obra tiene como finalidad describir los principales aspectos que regulan los fenómenos reproductivos en los animales domésticos, estudiando principalmente los conceptos básicos de la reproducción.

El libro consta de tres secciones: la primera incluye los fenómenos fisiológicos comprendidos en la serie de eventos que regulan la reproducción, desde el desarrollo embrionario hasta el reinicio de la actividad ovárica postparto. Se utilizó ganado bovino como modelo para explicar los capítulos de endocrinología de la reproducción, fertilización, parto, puerperio y lactancia, procurando indicar, cuando fue pertinente, las diferencias con otras especies. La segunda sección describe los principales factores que afectan la eficiencia reproductiva, y la tercera presenta las características reproductivas de bovinos productores de leche, bovinos productores de carne, equinos, porcinos, ovinos, caninos y felinos.

La obra está dirigida a estudiantes, técnicos y profesionales interesados en la reproducción animal y es un esfuerzo por dar a conocer los resultados de las investigaciones más recientes sobre el tema, adecuándolos a las condiciones que existen en nuestro medio latinoamericano.

© Portada: Patricia Hordóñez

ÁREA: VETERINARIA

ISBN-13 978-968-18-7132-1



9 789681 871321

GRUPO
NORIEGA EDITORES

limusa@noriegaeditores.com
www.noriega.com.mx

2. MORFOFISIOLOGÍA DE LOS ÓRGANOS GENITALES DEL MACHO Y DE LA HEMBRA*

ROSA MARÍA PÁRAMO R.

- 2.1. INTRODUCCIÓN
- 2.2. APARATO REPRODUCTOR DEL MACHO
- 2.3. APARATO REPRODUCTOR DE LA HEMBRA
- 2.4. LITERATURA RECOMENDADA

2.1. INTRODUCCIÓN

Conocer la anatomía de un aparato representa la base para su estudio amplio y profundo, además de facilitar la comprensión de su funcionamiento. Por ello es importante el conocimiento de la anatomía funcional del aparato reproductor, ya que su análisis permite fincar sólidas bases para el estudio del fenómeno por el cual se perpetúan las especies: la reproducción.

En los subtemas comprendidos en lo referente a macho y a hembra, se describe cada uno de los órganos que forman el aparato reproductor y sus diferencias entre especies señalándose en cada uno de ellos su función. Obviamente, la parte que trata el funcionamiento no se aborda en una forma muy amplia, ya que para ello existen otros capítulos en este libro.

Para facilitar el estudio del aparato reproductor del macho, sus órganos se pueden clasificar de acuerdo con su localización anatómica, en órganos genitales internos (que comprenden los conductos deferentes, las glándulas accesorias y la uretra pélvica) y órganos genitales externos (testículos con su epidídimo). También se ha considerado al testículo como órgano sexual primario, mientras que a los conductos excretores, glándulas accesorias, pene y prepucio se les considera órganos sexuales secundarios.

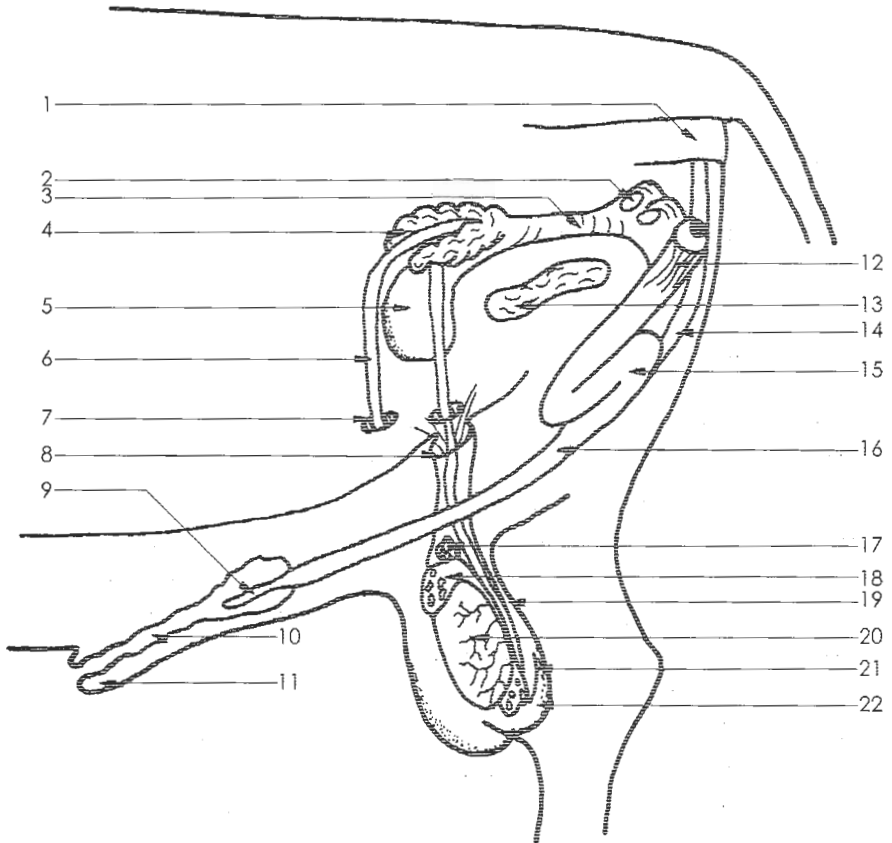
*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Anatomía funcional del aparato reproductor", elaborado por Alberto Saltiel y Gerardo Bustamante.

El aparato reproductor de la hembra se divide en ovarios y órganos tubulares (útero, oviducto, cérvix, vagina y vulva).

2.2. APARATO REPRODUCTOR DEL MACHO (FIGURA 2.1)

2.2.1. TESTÍCULO (FIGURA 2.2)

Los testículos son los órganos sexuales primarios que tienen como funciones principales la producción de espermatozoides (función exocrina) y la



- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Recto | 12. Músculo bulboesponjoso |
| 2. Glándula bulbouretral izquierda | 13. Piso de la pelvis |
| 3. Próstata | 14. Músculos retractores del pene |
| 4. Vesículas seminales | 15. Flexura sigmoidea del pene |
| 5. Vejiga urinaria | 16. Cuerpo del pene |
| 6. Conducto deferente derecho | 17. Plexo pampiniforme |
| 7. Anillo inguinal interno | 18. Epidídimo |
| 8. Anillo inguinal externo | 19. Músculo cremáster |
| 9. Porción libre del pene | 20. Testículo izquierdo |
| 10. Cavidad prepucial | 21. Túnica dartos |
| 11. Prepucio | 22. Escroto |

Figura 2.1. Aparato genital del toro (adaptado de: Sorensen, A.M. *Animal reproduction. Principles and practices.* McGraw-Hill Book Co. Nueva York, 1979)

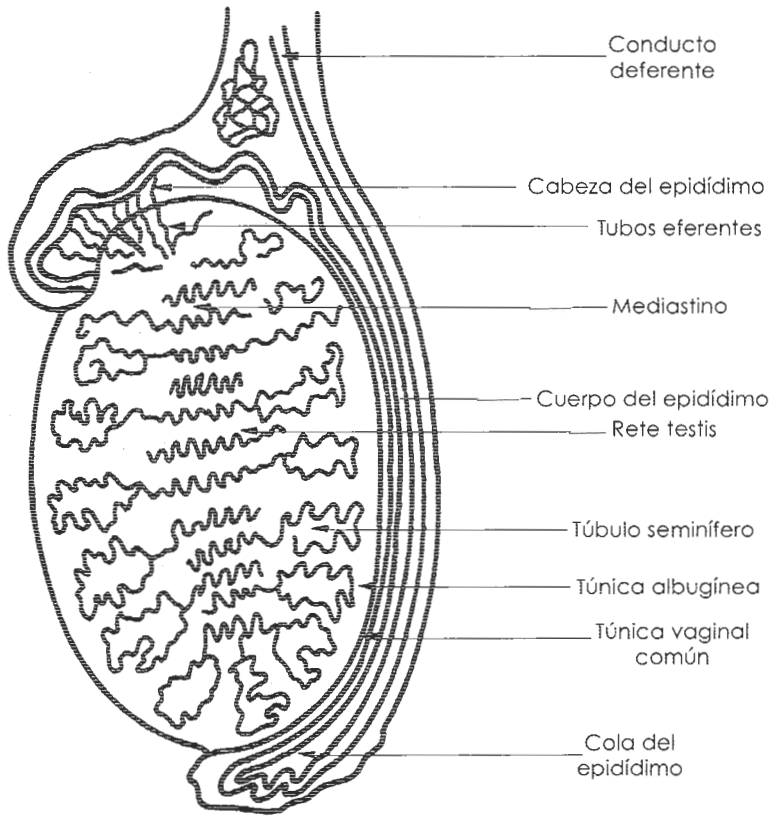


Figura 2.2. Testículo del toro

producción de hormonas esteroideas (función endócrina). Ambas funciones son reguladas por tres diferentes controles: 1. Circuito largo: hipotálamo, hipófisis, gónada. 2. Circuito corto: hipotálamo-hipófisis. 3. Circuito extracorto o parácrino: entre túbulo seminífero (células de Sertoli-células germinales) y tejido intersticial (células de Leydig, fluido intersticial y varios otros componentes químicos y celulares).

Macroscópicamente se diferencian dos estructuras: túnica albugínea o túnica vaginal propia, la cual está recubriendo la gónada y el parénquima testicular en el que se encuentran los túbulos seminíferos. La túnica albugínea es una membrana fibrosa que envía proyecciones hacia el interior del testículo que sirven como sostén para el parénquima testicular, el cual aloja a los túbulos seminíferos, en donde las espermatogonias sufren cambios hasta transformarse en espermatozoides. Éstos, una vez producidos, pasan a los conductos eferentes, los cuales llevan a los espermatozoides hacia el epidídimo.

La posición de los testículos en el escroto y la dirección de su eje longitudinal en relación con el cuerpo, varía con las especies. En los rumiantes

son pendulosos con su eje longitudinal en posición vertical; en los equinos y caninos el eje longitudinal se acerca mucho a la horizontalidad; y en el cerdo el eje se encuentra diagonal. El escroto, además de proteger al testículo, ayuda por medio de su túnica dartos, junto con el músculo cremáster y la disposición anatómica de la vena espermática del plexo pampiniforme, el cual tiene como función mantener una temperatura adecuada para la termorregulación de la espermatogénesis.

Microscópicamente, el testículo está organizado por los túbulos seminíferos, dentro de los cuales se lleva a cabo la espermatogénesis. Dentro de los túbulos se encuentran las células de Sertoli y las espermatogonias en diferentes etapas de maduración; fuera de los túbulos en el espacio intersticial, se encuentran el tejido y fluido intersticial, compuesto por vasos sanguíneos, linfáticos y células de Leydig. Cada túbulo seminífero termina en un túbulo recto, el conjunto de los cuales forma la *rete testis*, formando ya un solo túbulo con el que se inicia el ducto epididimario.

Los órganos sexuales secundarios son los conductos excretores (epidídimo, conductos deferentes, ámpula y la uretra), las glándulas accesorias, el pene y el prepucio.

El epidídimo es la estructura adyacente al testículo, que se encarga de funciones como las de transporte, maduración y almacenamiento de los espermatozoides. Anatómicamente se reconocen tres porciones: cabeza, cuerpo y cola. Esta última porción se continúa con el conducto deferente, el cual transporta el semen hacia la uretra durante el proceso de la eyaculación. La parte terminal de los conductos deferentes se conoce como las ampollas deferentes o ámpulas.

Las glándulas sexuales accesorias en el bovino, ovino, porcino, equino y caprino son: ámpulas, vesículas seminales, próstata y bulbouretrales. El gato carece de las vesículas seminales y el perro de las glándulas bulbouretrales y vesículas seminales. La situación, tamaño y cantidad de líquido producido por cada una de estas glándulas varía entre las especies domésticas, por lo que el volumen del eyaculado también es diferente entre las especies. Se describirán las glándulas accesorias del toro. Las dimensiones y características en las demás especies domésticas se indican en el cuadro 2.1.

2.2.2. Vesículas seminales

Son órganos pares localizados en la cavidad pélvica, tienen forma alargada, lobulada y están formados por grandes lobulillos. En el toro pueden ser palpadas por vía rectal, sin embargo en el caballo no es fácil hacerlo. La se-

Cuadro 2.1. Diferencia en peso y longitud de los órganos reproductivos en el macho

ÓRGANO	MEDIDAS	TORO	BORREGO	CERDO	CABALLO	PERRO	GATO	CHIVO
Testículo	Long. (cm)	13	10	13	9	3 x 2 x 1.5	14x8mm	25-30 90-100
	Diám. (cm)	7	6	7	6			
	Peso (g)	350	275	360	180			
Epidídimo	Long. (cm)	40	50	18	75			60-80
	Peso (g)	36		85	40			
Con. deferente	Long. (cm)	102	24		70			
Ámpula	Long. (cm)	15	7	Lóbulos esparcidos de tejido glandular a la terminación del conducto	25			6 a 7
Vesículas seminales	Long. (cm)	13	4	13	15			4
	Ancho (cm)	3	2	7	5			2.5
	Grosor (cm)	2	1.5	4	5			1.5
	Peso (g)	75	5	210				
Próstata	Cuerpo ancho	3 x 1 x 1	Lóbulos esparcidos del tejido	3 x 3 x 1	Istmo 2 x 3 x .5	bilobulada 1.4-2.8 cm long. y ancho	4 lóbulos	
	Parte diseminada	12 x 1.5 x 1		17 x 1 x 1	7 x 4 x 1			1 x 2 cm
Glándulas Bulbouretrales	Long. (cm)	3	1.5	16	5	No tiene	4 x 3	
	Peso (g)	6	3	85				
Pene	Long. (cm)	102	40	55	50	10	21.2 ± 2 mm	
	Parte libre Proc. uretral	9.5	4	18	20			
		0.2	4	no presenta	3			2-3 cm
Prepucio	Long. (cm)	30	11	23	Ext. 25 Int. 20			

Adaptado de: Hafez, E.S.E., Hafez, B. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Séptima edición. McGraw-Hill.

creción de estas glándulas contribuye al volumen total del eyaculado en diferentes proporciones según la especie; en el caso del toro es de 25 a 30%, en el verraco de 10 a 30%, en el carnero de 7 a 8 %, y en el humano de 40 a 80%. En el caballo se les considera como productoras de la última porción del eyaculado en forma de gel.

2.2.3. Próstata

Se le conocen dos porciones:

- a) Cuerpo.
- b) Porción diseminada.

La porción diseminada de la próstata se encuentra distribuida en toda la longitud de la uretra bajo una capa muscular, por lo que no es detectable por medio de la palpación. Sin embargo, en el caso del perro se palpa la próstata en su totalidad introduciendo un dedo por el recto; en situaciones normales deberá encontrarse a la entrada de la pelvis; si ya ha sufrido el proceso de hiperplasia, entonces tiende a irse hacia abajo a la cavidad abdominal. Debe incluirse su revisión al hacer la evaluación del macho adulto.

La secreción de la próstata contribuye a la formación del eyaculado en diferente proporción dependiendo de la especie; en los rumiantes representa el 4-6%, en el caballo 25-30%, en el verraco 60%, en el humano 15-30%, en el gato 14%, y en el perro 100%, ya que es la única glándula accesoria que éste tiene.

2.2.4. Glándulas bulbouretrales

También llamadas glándulas de Cowper, son cuerpos redondeados compactos en forma de nuez y con una densa cápsula. Se localizan sobre la uretra cerca de la salida de la cavidad pélvica. No se pueden palpar debido a que están cubiertas por tejido fibroso y por parte del músculo bulboesponjoso o bulbouretral. La secreción de estas glándulas no forma parte del eyaculado, ya que su función es básicamente limpiar y lubricar la uretra para el paso del eyaculado. Esto se debe a que la secreción de estas glándulas forma parte del preeyaculado. Sin embargo, en el caso del verraco se considera que forma parte del eyaculado en 15-30% y que además participa en la coagulación del mismo. En el caso del gato se considera que 43% del eyaculado proviene de estas glándulas.

Las ámpulas se encuentran en el caballo, toro y carnero, y por el hecho de presentar glándulas tubuloalveolares revestidas por células epiteliales columnares secretoras, productoras de líquido, que contribuyen al transporte de los espermatozoides, se les considera como glándulas. Algunos autores no las consideran como tales, sino como simples ensanchamientos del conducto deferente sin función secretora, como en el caso del caballo.

2.2.5. Pene

Es un órgano que tiene doble función: la expulsión de la orina y el depósito del semen en el aparato genital de la hembra. En el pene de los mamíferos se

encuentran tres cuerpos cavernosos, los cuales rodean a la uretra; se les conoce como esponjoso y cavernoso del pene y esponjoso del glande.

Estos cuerpos cavernosos tienen la propiedad de llenarse de sangre y producir la erección; en el caso del pene de los carnívoros, equinos y humanos (pene vascular) se observan grandes espacios, mientras que en el pene fibroelástico (rumiantes y porcinos) los cuerpos cavernosos son menos desarrollados. En estas últimas especies (rumiantes y porcinos) se encuentra una flexura característica (flexura sigmoidea o "S" peneana), la cual se distiende por la relajación de los músculos retractores del pene durante la erección y vuelve a su posición de descanso por la contracción de estos músculos. La parte anterior del pene (glande del pene) tiene diferente forma de acuerdo con la especie (figura 2.3). En el equino se presenta un glande característico, ya

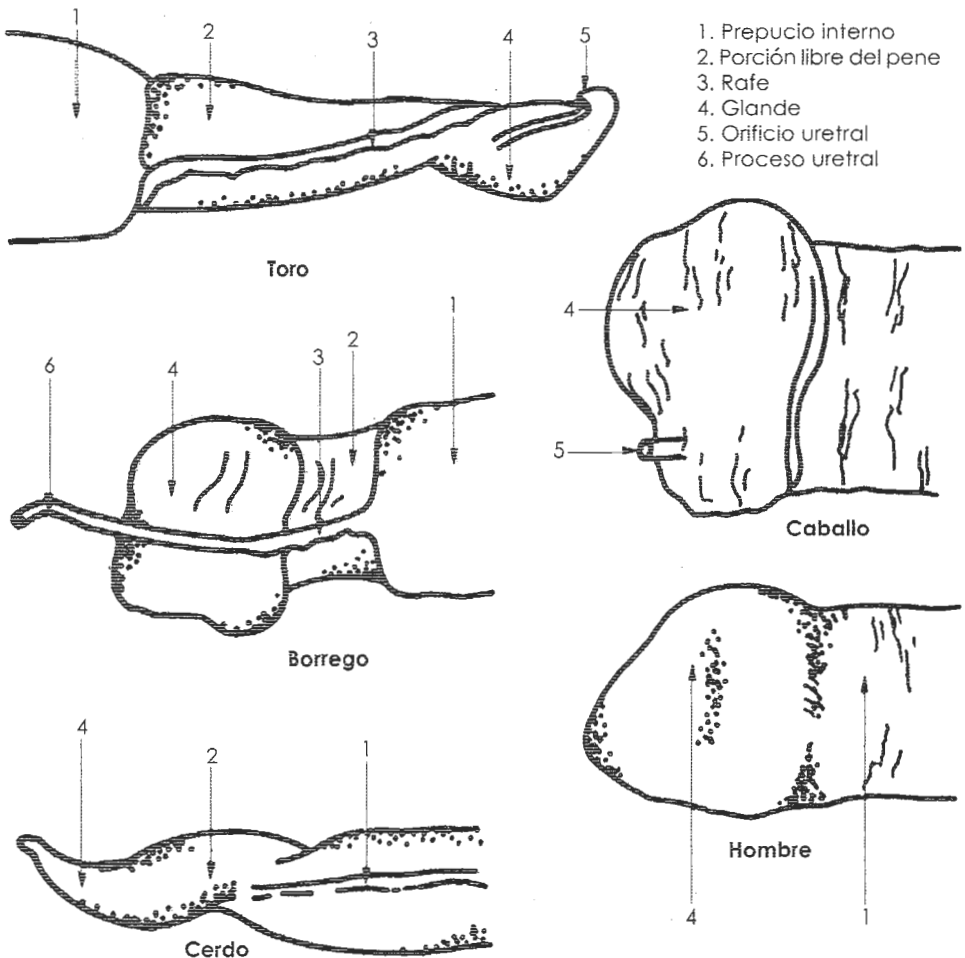


Figura 2.3. El glande de algunas especies domésticas (adaptado de: Sorensen, A.M. 1979. *Animal reproduction. Principles and practices.* McGraw-Hill Book Co. Nueva York)

que tiene el cuerpo y una corona que diferencia la cabeza del glande; también presenta una prolongación uretral de aproximadamente 1 cm. El bovino tiene el glande en forma de punta de lanza; el ovino y el caprino lo tienen semejante al bovino, pero con una prolongación uretral de 4 a 5 cm; el cerdo, en cambio, no tiene una estructura que se diferencie del cuerpo del pene, el glande en sí es una continuación que termina en forma de tirabuzón.

El pene del perro tiene hueso peneano, y se considera que el glande abarca desde la punta del pene hasta el bulbo en su parte posterior. En el caso del gato, además de tener hueso peneano, el glande está rodeado por 100 a 200 papilas cornificadas.

2.2.6. Prepucio

Es una estructura desarrollada a partir de la piel. En los rumiantes y porcinos se le considera constituido por dos porciones: la peneana y la prepeneana. En el cerdo tiene un amplio divertículo dorsal en el cual se acumulan orina y desechos epiteliales. En los caballos es penduloso, pliable y con pigmentación oscura.

2.3. APARATO REPRODUCTOR DE LA HEMBRA*

2.3.1. Ovarios

Los ovarios de los mamíferos domésticos son órganos pares suspendidos en la región sublumbar por el ligamento ancho, que en esta sección se denomina mesoovario, y están localizados caudalmente a los riñones. Tienen forma redondeada u oval, son de consistencia firme y, por lo general, poseen folículos y cuerpos lúteos que les confieren una apariencia irregular. Al corte, es posible detectar una zona externa llamada corteza o zona parenquimatosa y una interna llamada médula o zona vascular.

2.3.1.1. Corteza

Esta región se puede dividir en varias porciones:

- a) Epitelio. Llamado epitelio germinal, aunque el potencial gameto-génico del órgano se localiza más internamente.
- b) Túnica albugínea. Consiste en una capa densa de tejido conectivo.
- c) Corteza propiamente dicha, constituida por folículos en diferentes estadios de desarrollo, así como por estructuras derivadas de los

* Véase cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Cuadro de diferencias de estructuras tuboováricas

ÓRGANO	VACA	OVEJA	PERRA	GATA	CERDA	YEGUA	CABRA
Forma del ovario	Ovoide: semeja una almendra	Ovoide	Como un fíjol	Ovoide: cubiertos parcialmente por la bolsa ovárica	Racimo de uvas	Añfrionada debido a la presencia de la fosa de ovulación	Redondos Ovalados Alargados
Peso de los ovarios (g)	10 a 20	3 a 4	1.5	0.2	3 a 7	40 a 80	1.8 a 3.5
Número de folículos que maduran	1 a 2	1 a 4	3 a 20	3 a 7	10 a 25	1 a 2	3 a 4
Bolsa ovárica	Ancha y abierta	Ancha y abierta	Cubre completamente los ovarios	Cubre parcialmente los ovarios	Bien desarrollada encierra al ovario completamente	Angosta con una hendidura sobre la fosa de la ovulación	Ancha y abierta
Longitud del oviducto (cm)	25	15 a 19		5 a 6	15 a 30	20 a 30	
Tipo de útero	Bicornual	Bicornual	Bicornual	Bicornual	Bicornual	Bicornual	Bicornual
Longitud de los cuernos (cm)	35 a 45	10 a 12	4 a 10	10	40 a 65	15 a 25	
Cuerpos (cm)	2 a 4	1 a 2	2 a 5	2	5	15 a 20	
Características de cévix tamaño (cm)	8 a 10 (cm) muy prominente 5 anillos	4 a 10 (cm) muy prominente	1.5 a 2 (cm) forma de papila que protruye hacia la vagina		10 (cm) anillos en forma de rosca izquierda	7 a 8 (cm) pliegues longitudinales	5 a 6 (cm) 5 anillos
Longitud de la vagina (cm)	25 a 30	10 a 14	10 a 14	2	10 a 15	20 a 35	7.3
Diám. de los folículos (mm)	12 a 19	5 a 10	6	0.5	8 a 12	25 a 70	
Diám. del cuerpo lúteo (mm)	20 a 25	9		4.5	10 a 15	10 a 25	

Adaptado de: Hafez, E.S.E., Hafez, B. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Séptima edición, McGraw-Hill; y Hafez, E.S.E., Hafez B. 1987. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Quinta edición, Lea & Febiger. Ib J. Christiansen, *Reproduction in the dog and cat*, 1st ed., Ed Bailliere Tindall, England, 1984. Robert S. Youngquist, *Current therapy in large animal therogenology*, 1st ed., Ed. W.B. Saunders Company, E.U.A., 1997.

folículos, como cuerpos hemorrágicos, lúteos, *corpus albicans* y folículos atréticos.

2.3.1.2. Médula

Esta región está constituida por vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos, los cuales ocupan completamente la porción central del ovario. Entre los vasos principales existe tejido conjuntivo laxo, y en ovarios de hembras viejas existen remanentes de folículos, así como lipofuscina y macrófagos. El estroma de la médula se continúa con el estroma del mesoovario en el área llamada hilio ovárico.

El estroma de la corteza incluye algunos fibroblastos, así como células mesenquimales, las cuales son capaces, bajo el estímulo adecuado, de diferenciarse en células tecales y células intersticiales, ambas con propiedades esteroidogénicas.

2.3.1.3. Posición de los ovarios

El tamaño, la forma y la posición de los ovarios varían de manera considerable durante la vida de la hembra. Estos cambios se deben al crecimiento de los folículos productores de gametos y a la transformación de éstos en glándulas temporales cuya función es mantener la gestación. Además, el ovario tiene la capacidad de responder a las hormonas adenohipofisarias por lo que su volumen puede duplicarse inclusive en ausencia de folículos. La ausencia de este soporte hormonal típico producirá un ovario contraído y pequeño, con un espacio intercelular reducido.

2.3.1.4. Formación y maduración folicular

Las células germinales ocupan la superficie de la gónada en desarrollo desde las fases tempranas de crecimiento embrionario. En el ovario, las células primordiales se agrupan inmediatamente por debajo de la superficie, constituyendo las ovogonias. En la mayoría de los mamíferos, las ovogonias habrán formado folículos primordiales al momento del nacimiento, los cuales estarán formados por una ovogonia y una sola capa de células aplanadas llamadas foliculares.

El desarrollo del folículo quedará detenido desde esta etapa hasta la pubertad, aunque muchos degenerarán gradualmente y se convertirán en folículos atréticos.

El folículo primario se desarrolla a partir del primordial y se caracteriza por presentar varias capas de células foliculares rodeando al ovocito. Estas células foliculares adquieren una forma cuboidal y de apariencia secretora,

transformándose en células de la granulosa. Es en esta etapa cuando el ovocito se rodea de una capa clara de material extracelular: la zona pelúcida.

El folículo primario empezará a formar una cavidad, el antro, con lo que quedará transformado en folículo secundario. El antro es un espacio lleno de fluido que se forma por la unión de muchos pequeños espacios entre las células de la granulosa. Al constituirse totalmente, el ovocito permanecerá en un montículo central de células de la granulosa, llamado cúmulo ovífero. Asimismo, el ovocito permanecerá rodeado de algunas capas de células de la granulosa que formarán la corona radiada.

El folículo se encuentra rodeado de células del estroma modificadas llamadas *theca folliculi*, la cual está constituida por dos capas, la teca interna y la teca externa.

La teca interna está formada por agregados de células epitelioides que contienen vesículas de lípidos en el citoplasma, por lo que tienen función esteroideogénica. La teca externa está formada por capas concéntricas de células del estroma. El folículo maduro, terciario o de Graaf, tiene los mismos elementos que el secundario, con la diferencia de que, en este caso, todas las capas celulares se encuentran aumentadas de tamaño y el líquido folicular aumenta al grado de que el folículo se proyectará hacia la superficie del ovario.

Cuando el folículo se rompe al momento de la ovulación, el óvulo, rodeado de su corona radiada, y el líquido folicular son expulsados hacia las porciones superiores del oviducto. Las células que han permanecido en el folículo se colapsan hacia la cavidad central, la cual ha sido llenada de sangre, constituyendo el cuerpo hemorrágico, el cual se transformará en cuerpo lúteo, que estará constituido por células tecales y de la granulosa hipertrofiadas; los espacios serán llenados por tejido conectivo y capilares sanguíneos. Este cuerpo lúteo tendrá la función de secretar progesterona hasta el momento de involucionar y convertirse en *corpus albicans*, que no es más que la cicatriz fibrosa dejada por el cuerpo lúteo.

Los folículos atréticos están presentes en todos los ovarios normales. El proceso degenerativo se puede iniciar en cualquier estado de maduración folicular. En el folículo primario atrético, el ovocito se reduce de tamaño y se muere junto con las células foliculares. En un folículo secundario pequeño, el primer signo de atresia es a menudo la localización excéntrica del núcleo del ovocito, el cual se volverá granular y, finalmente se tornará picnótico. En un folículo maduro, la primera manifestación de atresia será la invasión del tejido conectivo y los capilares a la capa granulosa. Posteriormente, se observa descamación de células de la granulosa hacia el antro y finalmente el folículo se colapsa y es llenado por macrófagos y fibroblastos. Hasta este momento,

el óvulo será aparentemente normal pero rápidamente degenerará y dejará una zona pelúcida irregular entre la masa de células de reparación. La mayoría de los ovocitos presentes al nacimiento degenerarán. El mecanismo por el cual un ovocito es seleccionado para alcanzar la maduración final no ha sido establecido en su totalidad.

2.3.2. Porción tubular

2.3.2.1. Oviducto

El oviducto es un tubo muscular pequeño, está sostenido por el mesosalpinx. Su abertura cercana al ovario tiene forma de embudo y se le denomina infundíbulo, el cual se continúa con el ámpula y finalmente con el istmo, el cual se unirá a la cavidad uterina en la entrada del útero o unión uterotubárica. En el caso de la perra, el oviducto se encuentra enterrado en la bolsa ovárica, no diferenciándose como una estructura separada como en el caso de otras hembras de especies domésticas.

La pared del oviducto se compone de capas concéntricas:

- a) *Serosa*. Es una capa delgada de tejido conectivo cubierta por una capa simple de epitelio plano (mesotelio). Se encuentra altamente vascularizada y contiene paquetes dispersos de nervios no mielinizados del sistema nervioso autónomo, arterias musculares de mediano calibre, venas y vasos linfáticos que corren paralelamente al oviducto.
- b) *Muscular*. Se describe como constituida por dos capas de fibras musculares lisas, circulares internas y longitudinales externas. Sin embargo, en diferentes secciones del oviducto se puede advertir una gran variedad en la presentación de planos y orientación de la fibras.
- c) *Mucosa*. La mucosa del oviducto forma pliegues primarios y secundarios cuya morfología varía de manera considerable de segmento a segmento. En general, la mucosa de infundíbulo y ámpula presentan la mayor cantidad y complejidad de pliegues, y el istmo la menor.

La mucosa está formada por dos capas definidas: la lámina propia y la lámina epitelial. La lámina propia está constituida por tejido conectivo laxo altamente vascularizado y se localiza entre la túnica muscular y el epitelio. Se encuentra libre de glándulas y contiene numerosos vasos linfáticos. La lámina epitelial está formada por un epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado que contiene células ciliadas, células secretoras no ciliadas, células intercalares y células

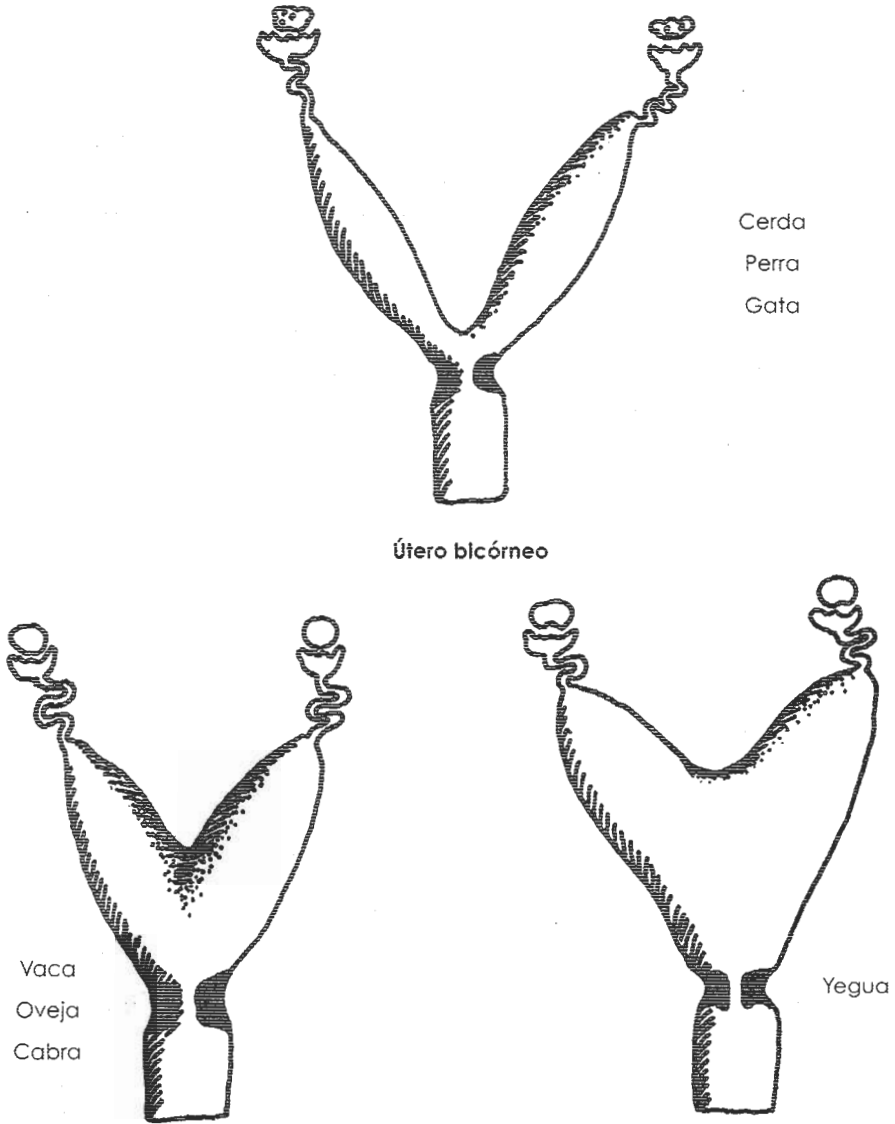


Figura 2.4. Diagramas comparativos del útero de algunas especies domésticas. (Adaptada de: McDonald, L.E. 1980. Veterinary endocrinology and reproduction. 3a. ed., Lea & Febiger, Philadelphia)

basales. La cantidad, proporción y tamaño de estos cuatro tipos de células varían de un segmento a otro del oviducto e igualmente pueden presentar variaciones con respecto al ciclo estral y su consecuente influencia hormonal.

2.3.2.2. Útero

El útero, en las especies domésticas, posee cuerpo y dos cuernos (figura 2.4). Los cuernos uterinos se desarrollan a partir de los conductos para-

mesonéfricos derecho e izquierdo, y el cuerpo se forma por la fusión de estos conductos dejando una sola cavidad.

Histológicamente está constituido por serosa o perimetrio muscular, o miometrio y mucosa o endometrio. La porción uterina que no se encuentra cubierta por peritoneo debido a su localización, se encuentra recubierta por adventicia llamada parametrio, y se encuentra sostenida por la porción del ligamento ancho llamada mesometrio.

El endometrio es un epitelio columnar simple, parcialmente ciliado, y una lámina propia que contiene glándulas tubulares simples, rodeadas de epitelio columnar. Estas glándulas se abren de manera directa a la cavidad uterina, y forman la segunda barrera y reservorio de los espermatozoides, durante su transporte. El miometrio está compuesto por músculo liso. Aunque no son fácilmente discernibles, consta de dos capas: una interna circular y una externa longitudinal. Entre ellas es posible reconocer una capa vascular.

2.3.2.3. *Cérvix*

El cérvix es el órgano que separa el útero de la vagina protegiendo al primero del contacto externo, a excepción del momento del parto y el período de estro. El lumen del cérvix se denomina canal cervical y está limitado por dos orificios: la os interna y la os externa. La longitud y tortuosidad de este canal varía entre especies (figura 2.5). El cérvix posee una capa muscular circular bien desarrollada que contiene fibras elásticas. La mucosa forma una gran cantidad de pliegues, cuyo epitelio contiene células productoras de moco.

Este moco está compuesto de glucoproteínas que contienen aproximadamente 25% de aminoácidos y 75% de carbohidratos. Tiene las siguientes características biofísicas: arborización, elasticidad, viscosidad, tixotropismo y adhesividad. La arborización consiste en que el moco, durante la etapa estrogénica, se cristaliza en forma de helecho al secarse sobre una laminilla, este patrón no se observa durante la etapa progestacional.

Algunas de las funciones del cérvix son: facilitar, por medio del moco cervical, el transporte de los espermatozoides, así como ser el primer filtro, selección y barrera de los espermatozoides. A su vez, las criptas cervicales formarán el primer reservorio de espermatozoides.

2.3.2.4. *Vagina*

La vagina es un órgano fibromuscular de pared gruesa que se extiende desde el cérvix hasta la vulva. Se compone de mucosa muscular y adventicia. La mucosa está formada por un epitelio escamoso estratificado que descansa

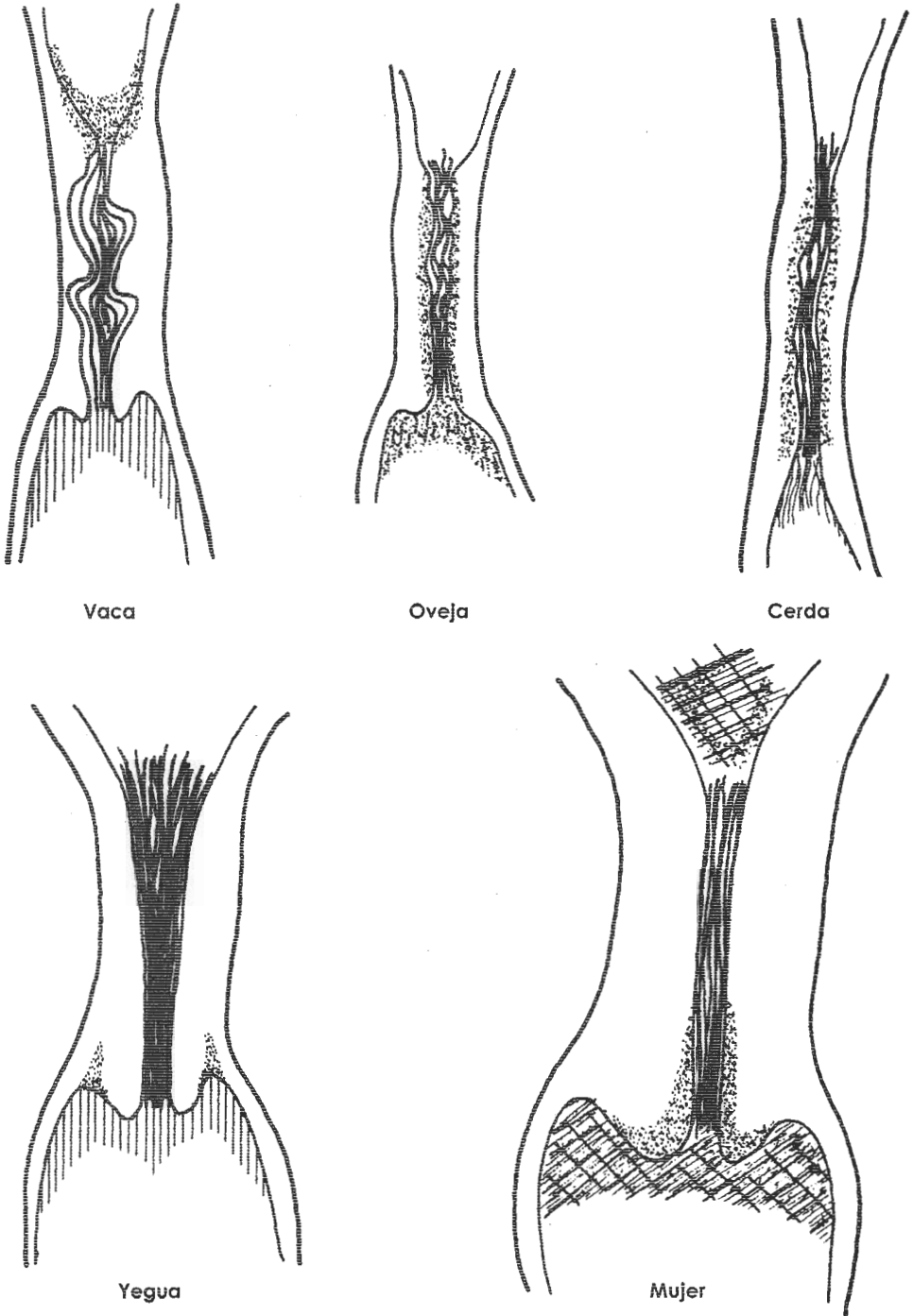


Figura 2.5. Cérnix de especies domésticas. (Adaptada de: Sorensen, A.M. 1979. Animal reproduction. Principles and practices. McGraw-Hill Book Co. Philadelphia)

sobre una gruesa lámina propia. Este epitelio tiene la capacidad de variar en grosor y tipo celular con el ciclo ovárico y la producción diferencial de hormonas esteroideas, por lo que es factible, en algunas especies, determinar la etapa del ciclo estral, el inicio de la pubertad y la gestación por medio de la observación histológica de los diferentes elementos de la mucosa vaginal.

2.3.2.5. Vulva

La vulva es la porción terminal del aparato genital femenino. Está formada por los labios vulvares, izquierdo y derecho, los cuales se unen en las comisuras dorsal y ventral. La vulva representa igualmente el final del aparato urinario, ya que la uretra se abre en el piso de la vulva. El himen, una membrana transversa en la unión de la vulva y la vagina, puede o no estar presente.

En la comisura ventral de la vulva se encuentra el clítoris, que es el homólogo del pene. Descansa en una depresión llamada fosa del clítoris. La mucosa de la porción terminal de la vulva contiene glándulas vestibulares, que son las homólogas de las glándulas sexuales accesorias del macho. Las mayores o de Bartholini son las homólogas de las glándulas bulbouretrales.

2.4. LITERATURA RECOMENDADA

- Christiansen, J.I. 1984. *Reproduction in the dog and cat*. Bailliere Tindall, Londres.
- Dyce, K.M., Sack, W.O., Wensing, C.J.G. 1997. *Anatomía veterinaria*. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires.
- Hafez, E.S.E., Hafez, B. 2002. *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Séptima edición, McGraw-Hill.
- Johnston, S.D., Root Kustritz, M.V., Olson P.N.S. 2001. *Canine and feline theriogenology*. W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- Kretser de, D.M. y Kerr, J.B. 1994. The cytology of the testis. Chapter 19. En: *The physiology of reproduction*, Vol. 1, 2a. ed., Eds. Ernest Knobil, Jimmy D. Neill, Raven Press.
- Miller, M.E., Evans, H.E., de LaHunta A.1997. *Diseccción del perro*. Cuarta edición, McGraw-Hill Interamericana.
- Root Kustritz, M.V. 2003. *Small animal theriogenology. The practical veterinarian*. Butterworth Heinemann.
- Sharpe, R.M. 1994. Regulation of spermatogenesis. Chapter 22. En: *The physiology of reproduction*, Vol. 1, 2a. ed., Eds. Ernest Knobil, Jimmy D. Neill, Raven Press.
- Youngquist, R.S. 1997. *Current therapy in large animal theriogenology*. W.B. Saunders Co.

3. GAMETOGENESIS*

MARILISE MESQUITA HORN / MARTINA FRITSCH

- 3.1. INTRODUCCIÓN
- 3.2. OVOGÉNESIS
- 3.3. ESPERMATOGÉNESIS
- 3.4. DIFERENCIAS ENTRE OVOGÉNESIS Y ESPERMATOGÉNESIS
- 3.5. LITERATURA RECOMENDADA

3.1. INTRODUCCIÓN

Las células germinales masculinas y femeninas tienen el mismo origen embrionario. Las gónadas indiferenciadas en un embrión tienen tres tipos celulares: las células que van a originar los gametos (ovogonia o espermatogonia), precursoras de células que nutren a los gametos en desarrollo (células de la granulosa en el ovario; células de Sertoli en el testículo) y precursoras de células que secretan hormonas sexuales (células tecales en el ovario; células de Leydig en el testículo).

Las células germinales son las únicas estructuras del organismo que poseen la capacidad de dividirse por meiosis sufriendo una reducción en el número de cromosomas, siendo responsables por la transmisión de la carga genética a los descendientes. En contraste, las células somáticas solamente se dividen por mitosis.

La formación de los gametos comprende fases secuenciales de mitosis, meiosis y postmeiosis. Estos procesos son altamente organizados y necesitan un preciso y bien coordinado programa de expresión genética. Una de las características importantes de la gametogénesis es la reducción cromosómica, que a través de la meiosis, reduce por la mitad el número de cromosomas y además produce células distintas entre sí, debido a cambios de material genético entre los pares de cromosomas provenientes del padre y la madre, lo que ocurre en el proceso de "crossing over" durante la primera fase de la meiosis.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Gametogénesis", elaborado por Gerardo Bustamante, Javier Valencia y Carlos Galina.

El proceso de gametogénesis en la hembra se conoce como ovogénesis, y en el macho como espermatogénesis.

3.2. OVOGÉNESIS

La ovogénesis es el proceso de formación, crecimiento y maduración de los gametos femeninos. La etapa de formación se realiza durante la vida fetal en la hembra; los gonocitos migran hacia las crestas genitales y una vez formada la gónada primitiva se convierten en ovogonias.

En la etapa de proliferación las células primordiales germinales se diferencian a través de innumerables divisiones mitóticas hasta ovogonias. En el instante en que las oogonias cesan su fase proliferativa son llamadas oocitos primarios, estadio que es alcanzado en la mayoría de las especies mamíferas antes o después del nacimiento. En el oocito primario ocurren dos divisiones identificadas como meiosis donde ocurre la reducción del número de cromosomas. Este proceso es interrumpido por dos fases de inactividad (descanso); la primera interrupción meiótica ocurre en la profase de la primera división meiótica, y la segunda en la metafase de la segunda división meiótica. La figura 3.1 muestra la secuencia de estos estadios.

En el estadio de ovocito primario da comienzo la primera división meiótica: el DNA es replicado y cada cromosoma se constituye de dos cromátidas. Los cromosomas homólogos se forman en pares y ocurre un intercruzamiento entre las cromátidas de estos cromosomas. Después de estos eventos, la célula es mantenida en la profase I, permaneciendo inactiva por días o hasta años dependiendo de la especie.

La maduración del oocito se identifica como el tiempo entre el reinicio de la meiosis posterior a la primera fase de descanso, hasta la obtención del estadio de metafase en la segunda división de la maduración. Por medio de la liberación hipofisiaria de hormonas durante el ciclo preovulatorio, el oocito recibe la señal para reiniciar la división meiótica. Con la primera señal del reinicio de la meiosis, el material cromosómico se recondensa, la envoltura nuclear se rompe (germinal vesicle breakdown-GVBD), y los cromosomas homólogos replicados se separan en la anafase I generando dos núcleos, conteniendo cada uno la mitad del número original de cromosomas. El siguiente evento es el estrangulamiento y aislamiento de un pequeño corpúsculo polar, que contiene poco citoplasma y la mitad de los cromosomas y que después tiende a degenerar. Entre tanto, la otra mitad de los cromosomas permanece en la parte abundante del citoplasma en estado condensado, llamándose para este estadio ovocito secundario. En este estado, cada uno de los cromosomas aún está compuesto por dos cromátidas que solamente se separan en la división

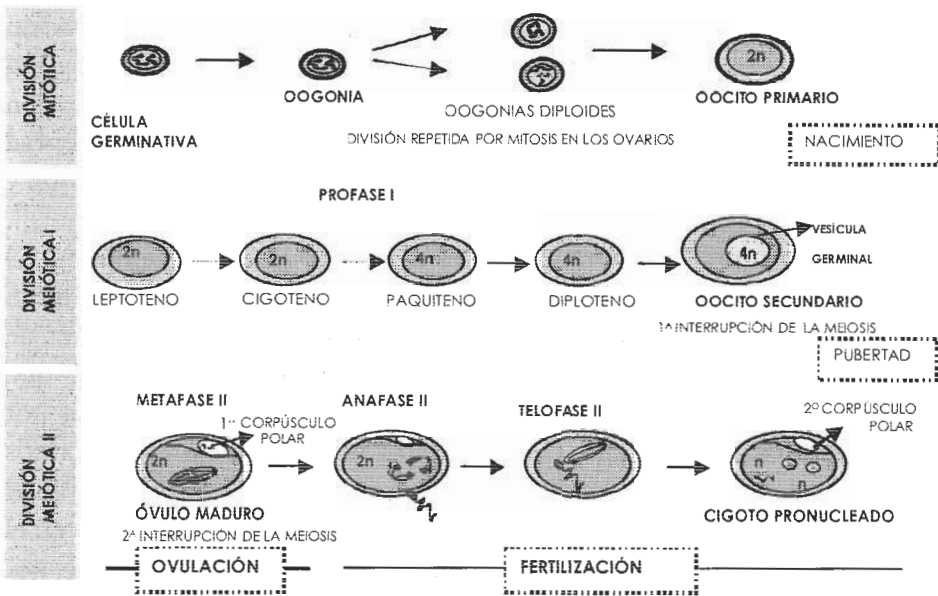


Figura 3.1. Representación de la ovogénesis. En la etapa de proliferación, las células germinales se diferencian por mitosis. La meiosis I se caracteriza por una profase prolongada, ocurriendo la duplicación del DNA. En las dos divisiones, que ocurren antes de la ovulación y después de la fertilización, la cantidad de DNA es reducida a $1n$, con el fin de que en la fusión de los pronúcleos (singamia) postfertilización, un cigoto sea generado con un número de cromosomas de $2n$

meiótica II. Después de la separación de los cromosomas en la anafase II, el citoplasma del oocito secundario se divide nuevamente produciendo el óvulo maduro y un segundo corpúsculo polar. En la mayoría de las especies domésticas, la maduración de los oocitos avanza hasta la metafase II (ovulación) entrando en reposo hasta el momento de la fertilización, cuando la penetración del espermatozoide activa el óvulo para completar la meiosis.

Hacia la mitad de la gestación, los ovarios fetales contienen el mayor número de ovogonias, y en el momento del nacimiento una hembra tiene en sus ovarios la cantidad de células germinales definidas para el resto de la vida reproductiva. Al nacer, por ejemplo, la hembra del bovino tiene en los ovarios aproximadamente 150,000 ovocitos primarios. Al tercer mes de vida este número se ha reducido a 75,000; entre el año y medio y los tres años tiene 21,000 ovocitos, y entre los 12 y 14 años de edad solamente 2,500. De manera que la mayoría de los ovocitos sufrirán atresia durante la vida del animal y sólo un número reducido de ellos tendrá oportunidad de crecer hasta formar parte de un folículo de Graaf y llegar a ser ovulados.

Así como la producción de gametos femeninos es trascendental, también es de suma importancia la formación de los folículos responsables de la sustentación y desarrollo de los oocitos. En la foliculogénesis, el crecimiento

del oocito dentro de los folículos en el ovario requiere de una elaboración cuidadosa de etapas de desarrollo de células germinales y somáticas. Asimismo, es necesaria la interacción entre ellas, estableciendo una comunicación bidireccional entre el oocito y las células somáticas adyacentes, siendo esencial para el desarrollo de la competencia del oocito para realizar la fertilización y subsecuente embriogénesis.

La reserva de folículos primordiales del ovario se establece durante el desarrollo embrionario (bovino, ovino, humano) o en el nacimiento (roedores). Esta reserva de folículos constituye la provisión completa de oocitos durante toda la vida de la hembra. Los folículos primordiales que inician el desarrollo son destinados para la ovulación o degeneran por atresia. En los estadios iniciales de la foliculogénesis, los factores paracrinicos promueven el crecimiento del oocito y células somáticas adyacentes. En el instante del nacimiento, o casi inmediatamente después, se encuentran en el ovario folículos primordiales (diámetro $\pm 12 \mu\text{m}$) que se caracterizan por presentar una única capa de células foliculares planas que envuelven el oocito primario. Con el inicio de la pubertad y por estimulación de las gonadotropinas, el epitelio folicular prolifera por mitosis y se transforma en epitelio cuboide estratificado llamado ahora folículo secundario, englobando el oocito secundario. Al proliferar el epitelio folicular se desarrollan vasos sanguíneos. Una capa de vasos comienza a invadir el tejido conjuntivo que circunda el oocito secundario, estructura llamada teca interna, que es delimitada en el exterior por la teca externa, formada por tejido conjuntivo. Durante el crecimiento folicular se forma, por el oocito, un manto extracelular llamado zona pelúcida. Esta membrana está constituida por una gruesa red de glicoproteínas, sirve de defensa mecánica y es parte integrante del bloqueo contra la poliespermia (fertilización patológica cuando el óvulo es penetrado por más de un espermatozoide).

En el estadio adelantado de desarrollo folicular, entre las células del folículo secundario se forman áreas llenas de líquido folicular que se juntan para formar una cavidad: el antro folicular. Más adelante ocurre un rápido aumento del volumen folicular debido a la acumulación de líquido generado en el folículo terciario, también llamado folículo de Graaff o folículo preovulatorio (diámetro $\pm 400\text{-}600 \mu\text{m}$). En este folículo, el ovocito ha quedado colocado en alguna parte de la pared folicular rodeado por las células de la granulosa en un montículo llamado *cumulus oophorus*. Después del pico de la hormona luteinizante (LH), durante el ciclo de la hembra, disminuye la tasa de mitosis de las células de la granulosa, y el núcleo de las células del cúmulo se vuelve picnótico, existiendo una vasoconstricción de los capilares de la teca interna, la cual genera una isquemia local. A continuación se

forma un estigma, por el cual, al ocurrir la ovulación, se presenta una disolución de la pared folicular y la liberación del óvulo.

3.3. ESPERMATOGÉNESIS

En el nacimiento, las células germinativas de los machos se llaman gonocitos. Los túbulos seminíferos son pequeños y no tienen lumen; la población celular está compuesta apenas por los gonocitos y células de soporte que darán origen a las células de Sertoli (figura 3.2). Los túbulos se encuentran rodeados por gran cantidad de tejido intersticial que contiene principalmente células mesenquimales precursoras de las células de Leydig. Cuando la diferenciación celular empieza a manifestarse, ocurre la formación del lumen del tubo seminífero.

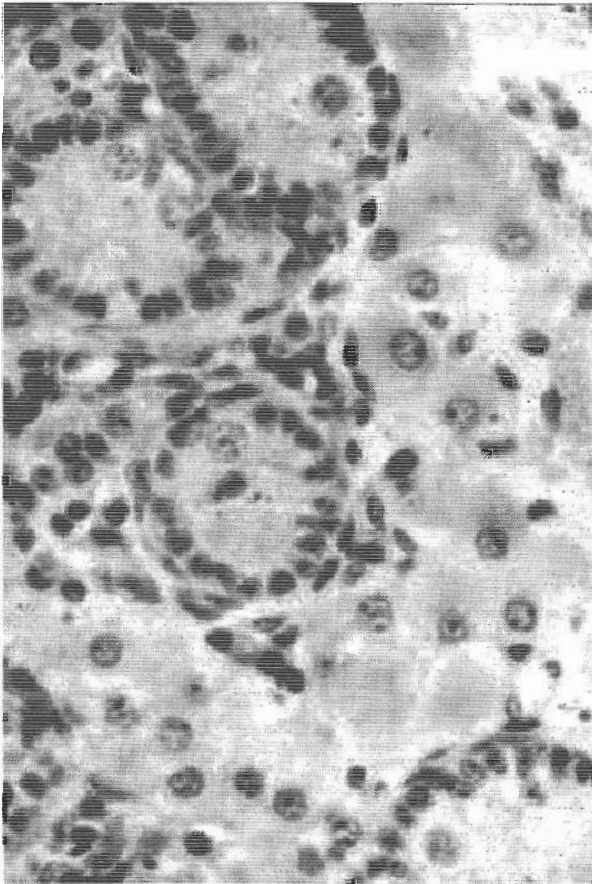


Figura 3.2. Fase neonatal. Nótese la gran infiltración de tejido intersticial en casi 50% de la sección originando que los túbulos sean pequeños y redondos en su mayoría. El citoplasma y núcleo de las células pre-Leydig se notan claramente por ser éste un espécimen de porcino donde el tejido intersticial está claramente diferenciado. Hematoxilina-eosina (X 220.5)

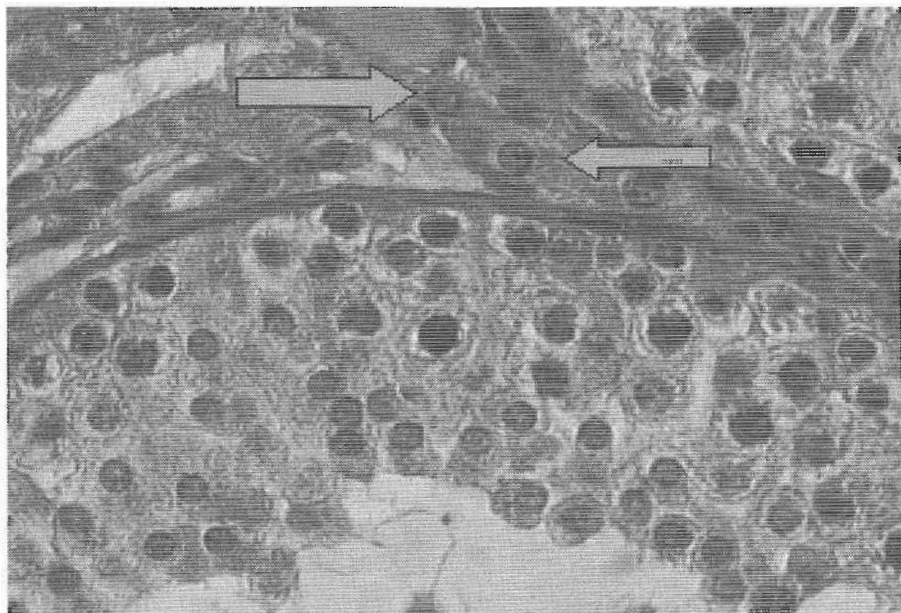


Figura 3.3. Células de Leydig en el espacio intersticial del testículo bovino adulto. PAS (400 X)

Antes de la pubertad, la diferenciación celular se manifiesta primero por la presencia de espermatocitos primarios, los cuales se degeneran en general en la fase de paquiteno, por falta de estímulo hormonal. Al acercarse la pubertad, las espermatogonias empiezan a dividirse aceleradamente por mitosis, mientras en el espacio intersticial las células mesenquimales también empiezan a diferenciarse y a dar origen a las células de Leydig (figura 3.3).

La población de células de Sertoli se define durante la última fase de la gestación y después del nacimiento, siendo controlada principalmente por los niveles de la hormona folículo estimulante (FSH). Este patrón de multiplicación produce una población fija en tamaño después de la pubertad y cuantitativamente estable durante toda la vida del animal, existiendo aún una relación directa entre el tamaño de la población total de células de Sertoli y la producción de un adecuado número de espermatozoides en la vida adulta. Las células de Sertoli son las únicas células somáticas que están en el epitelio seminífero, y su función es la nutrición, sustentación y control endocrino de las células germinales. Las células de Sertoli participan activamente en el proceso de liberación de los espermatozoides para la luz del túbulo. En este momento las células de Sertoli realizan la fagocitosis de parte del citoplasma del espermatozoide de los llamados cuerpos residuales. Las células de Sertoli también fagocitan las células germinales que se degeneran en el curso normal de la espermatogénesis. Las células de Sertoli sintetizan gran cantidad de proteínas, como por ejemplo las proteínas ABP (*androgen*

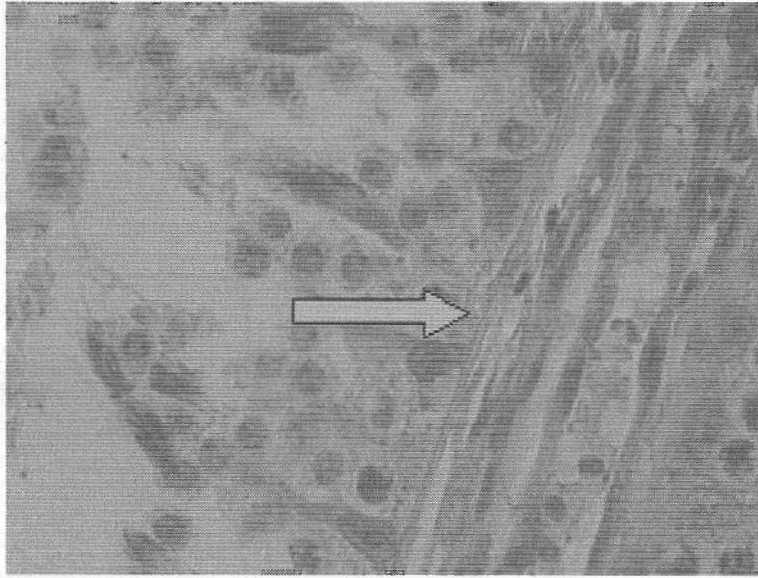


Figura 3.4. Epitelio seminífero, células de Sertoli (flecha) (400 X)

binding protein), que transportan andrógenos para todo el aparato reproductivo, transferrinas, que transportan hierro para la respiración celular

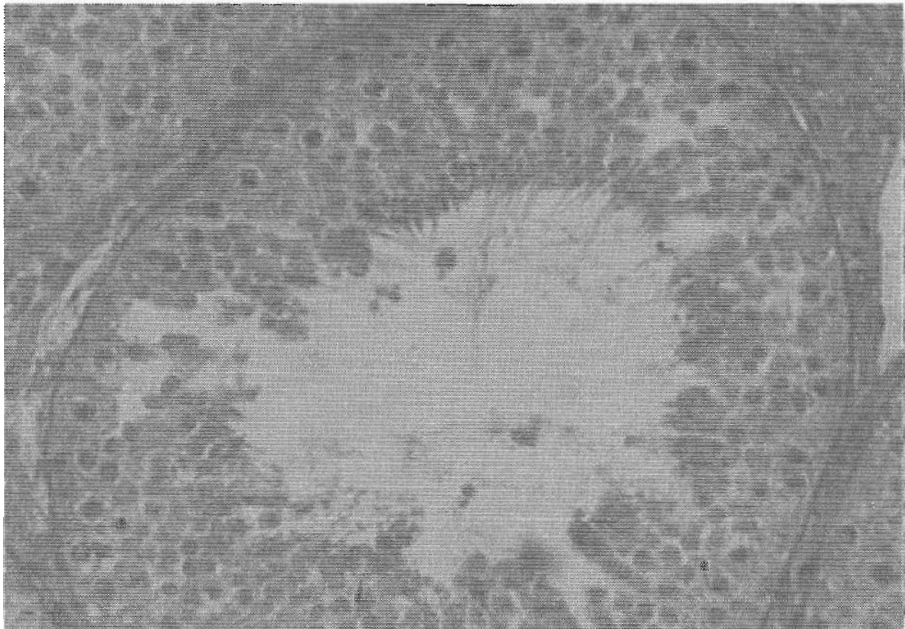


Figura 3.5. El establecimiento de la pubertad por la presencia de espermatozoides en el túbulo. Hematoxilina-eosina (400 X)

de las células germinativas, y también las inhibinas, que regulan la liberación de FSH por la hipófisis, a través de un sistema de retroalimentación negativa (figura 3.4).

Las células peritubulares o mioides están situadas alrededor del túbulo seminífero, y se piensa que estas células promueven la contracción y la integridad estructural del túbulo. Este tipo celular apenas se diferencia en la pubertad por la acción de los andrógenos (figura 3.5). Las interacciones entre las células de Sertoli y las células mioides parecen tener un papel importante en el mantenimiento de las funciones del testículo.

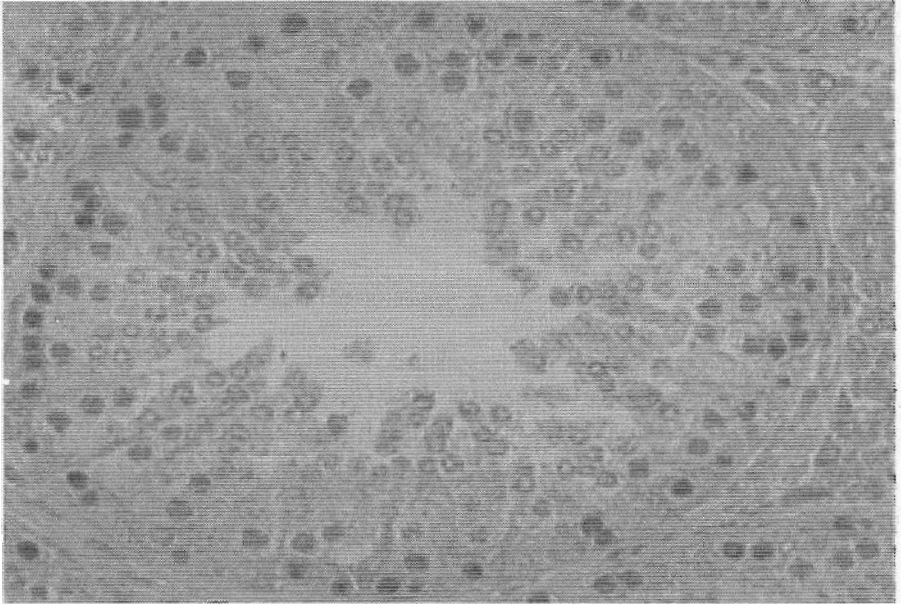


Figura 3.6. Espermatozonias enmarcadas por inmunohistoquímica, anticuerpo monoclonal TGF α (400 X)

Las espermatozonias A0 son la fuente para la continua producción de gametos. La mitad de ellas se dividen y forman células iguales (las llamadas células tronco) y aproximadamente la otra mitad forma espermatozonias A1, que nuevamente por divisiones mitóticas forman espermatozonias A2, A3 y A4. El tipo A4 sufre mitosis para formar la espermatozonia intermedia (A In), que a su vez, por mitosis, forma la espermatozonia B (figura 3.6). Estos tipos de espermatozonias pueden ser identificados en evaluaciones histológicas de acuerdo con su organización topográfica en la membrana basal de los túbulos seminíferos o su contenido de heterocromatina. Otra manera de diferenciación se basa en marcadores moleculares específicos que distinguen las espermatozonias tronco (A0) de las demás espermatozonias, con los fines de aislamiento, desarrollo *in vitro* y trasplante.

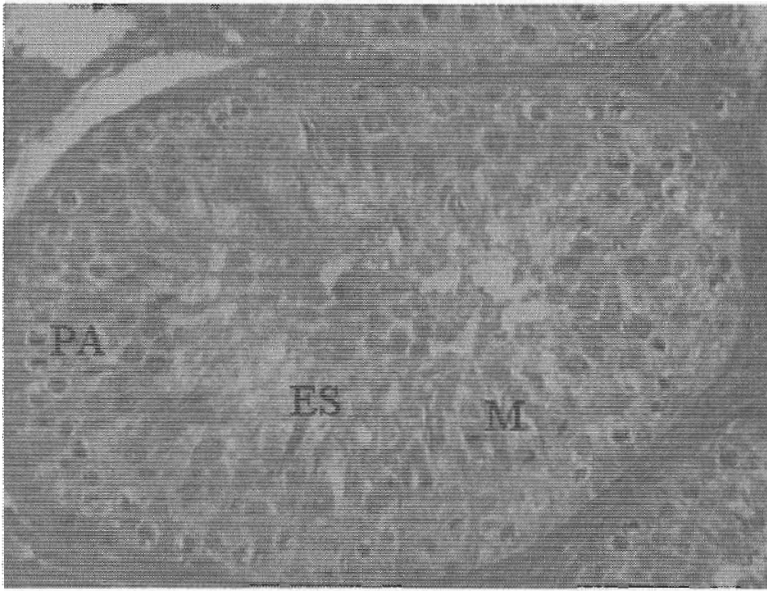


Figura 3.7. Fase de divisiones meióticas (M), espermatocitos en paquiteno (PA) y espermatocitos secundarios (ES)

Las espermatogonias B pasan por mitosis para formar los espermatocitos primarios; éstos inician la primera etapa de la meiosis para dar lugar a los espermatocitos secundarios; en la segunda etapa de la división meiótica, cada espermatocito secundario se divide para formar las espermatídas. Cuando el testículo alcanza su desarrollo total, la meiosis se completa y las espermatídas

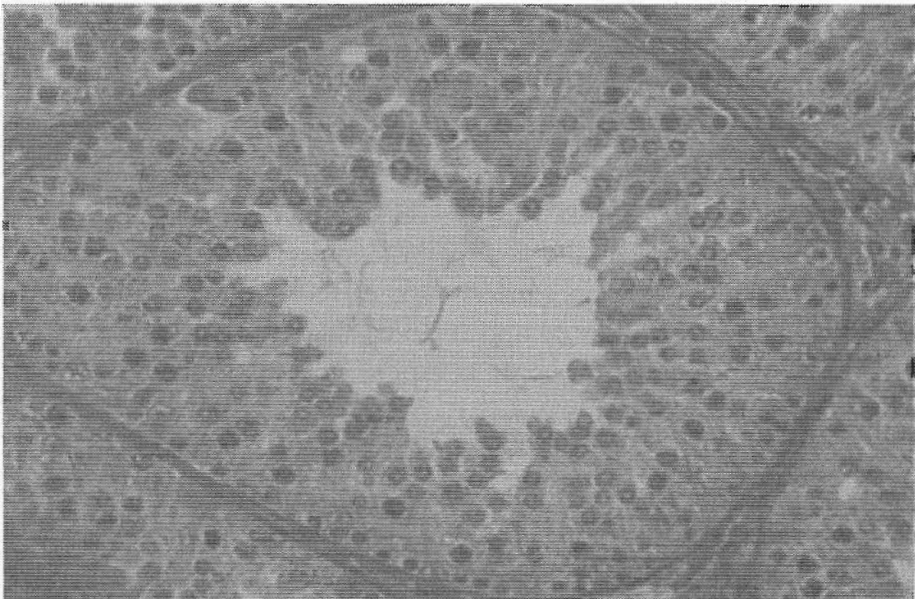


Figura 3.8. Estadio posterior a la liberación de los espermatozoides en la luz del túbulo. Hematoxilina-eosina (400 X)

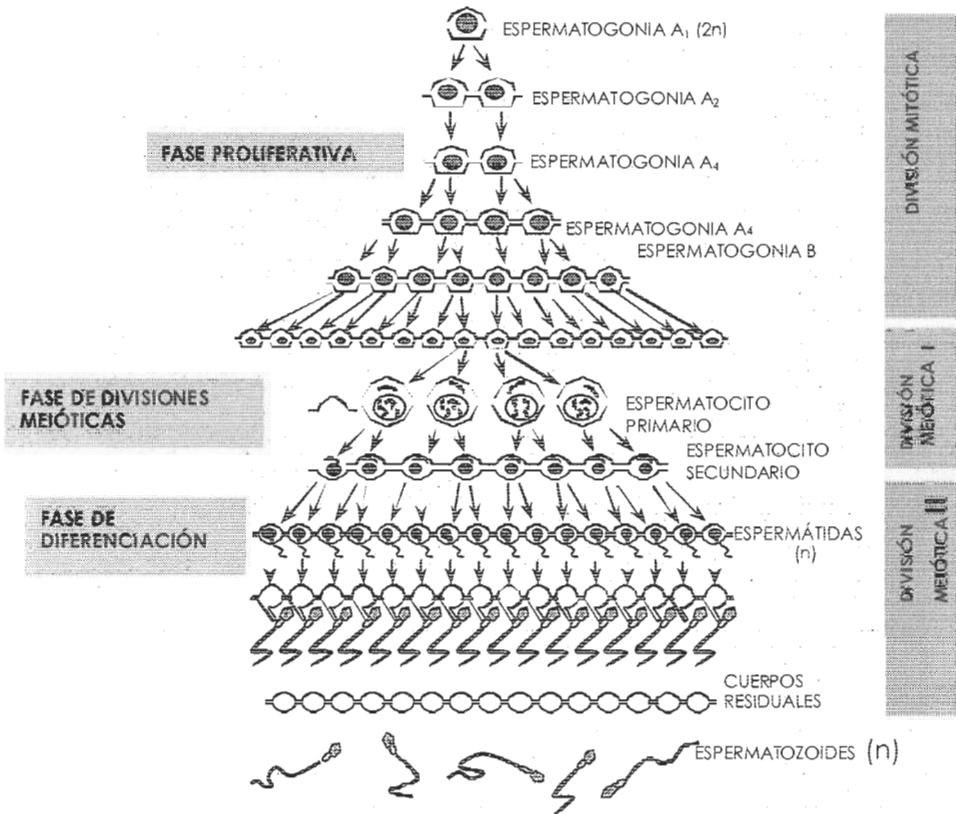


Figura 3.9. Espermatogénesis

originadas se convierten en espermatozoides. Uno de los signos característicos de este fenómeno es el alargamiento de las espermátidas y su migración hacia el lumen del túbulo (figuras 3.5, 3.7 y 3.8).

La espermatogénesis, para su estudio, se divide en tres fases basadas en consideraciones funcionales (figura 3.9):

1. *La fase proliferativa.* Después de la pubertad y durante la vida reproductiva del macho, las espermatogonias se dividen de una manera rápida y sucesiva por mitosis: tipo A₀ (células tronco), las A₁-A₄, las intermedias, y las de tipo B. Todas ellas representan estadios sucesivos del desarrollo de la espermatogonia (figura 3.6).
2. *La fase meiótica.* El material genético se recombina y es segregado. El espermatoцитo primario realiza su primera división meiótica o reduccional para dar origen a los espermatoцитos secundarios. Ésta es una fase prolongada donde ocurren los cambios de material genético entre los pares de cromosomas. Las fases de esta división son iguales a las que ocurren en la meiosis de la hembra. Durante este período no sólo se realiza la reducción en el número de cro-

mosomas somáticos, sino que también los cromosomas sexuales se separan de manera que un espermatocito secundario recibe el cromosoma X y el otro el cromosoma Y. En la segunda división meiótica de cada espermatocito secundario se producen dos espermátidas (figura 3.7).

3. *La fase de diferenciación o fase espermiogénica.* Consiste en la transformación de las espermátidas en espermatozoides estructuralmente equipados para fertilizar al óvulo. Éstos son cambios que ocurren cuando las espermátidas están en contacto con el citoplasma de la célula de Sertoli. Durante este proceso comienzan a diferenciarse las partes que constituyen el espermatozoide, primero la cabeza (formada casi exclusivamente por el núcleo), el acrosoma o capuchón cefálico, el cuello y la cola (que es la porción motriz del espermatozoide).

El ciclo espermatogénico de la rata ha sido clasificado en 14 estadios, basados en la morfología de las espermátidas. Sin embargo, para otras especies hay clasificaciones menos elaboradas, como en el caso de los humanos, en los que solamente se consideran 6 estadios, y los toros, con ocho. Las diferencias en las clasificaciones entre especies dependen de en cuál característica del ciclo se considera el estadio I, si en la fase posmeiótica, donde están las espermátidas recién formadas de la meiosis II (como en las ratas, humanos y canes), o en la fase de posliberación de los espermatozoides en el lumen (como en el caso de los toros).

La testosterona, hormona esteroide producida por las células de Leydig, es esencial para el mantenimiento y la restauración de la espermatogénesis, y para desarrollar y mantener las características secundarias masculinas. La acción de la FSH está más enfocada en las fases gestacional, prepuberal y puberal, donde se desarrolla la espermatogénesis. Por ejemplo, en el animal adulto los niveles basales de FSH son suficientes para mantener la función espermatogénica normal. Sin embargo, la FSH interactúa con los receptores de las células de Sertoli estimulando la producción de ABP e inhibina, y también la división de las células germinales. La inhibina actúa bloqueando la liberación de FSH y estimulando la liberación de LH.

La hormona LH actúa en el testículo estimulando la secreción de andrógenos por las células de Leydig, y por ende estimula la proliferación del epitelio seminífero, ya que existen receptores para estos esteroides en las células germinales. Los andrógenos son transportados desde el espacio intersticial para el epitelio seminífero y también para todo el aparato reproductivo por proteínas transportadoras de andrógenos (ABP) producidas por las células de Sertoli.

Está bien establecido que el control de la espermatogénesis depende de la función del eje hipotálamo-hipófisis-testicular. Sin embargo, muchos estudios indican la importancia de la regulación de la espermatogénesis a nivel paracrino-autocrino, o sea, a nivel local.

Aunque la FSH aumente la viabilidad del epitelio seminífero y la proliferación de las espermatogonias, y los andrógenos sean esenciales para la diferenciación del aparato reproductivo masculino, no son suficientes para inducir el desarrollo normal de la espermatogénesis. El desarrollo de la función testicular requiere también una producción de factores locales y una interacción de célula a célula que regula el crecimiento y la diferenciación del tejido.

Los factores locales envueltos en las interacciones entre células de Sertoli, de Leydig y germinativas incluyen *insulin growth factor 1* (IGF-1), inhibina, *transforming growth factor* β (TGF- β), oxitocina, vasopresina, opioides, esteroides, citocinas (interleuquinas 1 y 6, y el factor inhibidor de migración de macrófagos-MIF). Estas citocinas son producidas por las células de Sertoli, células germinativas, macrófagos y células de Leydig, y actúan en la modulación de la espermatogénesis.

En algunas especies, incluyendo el hombre, los macrófagos representan el segundo tipo celular intersticial más numeroso en el testículo, después de las células de Leydig. Macrófagos y varios subtipos de linfocitos son identificados en los testículos de carneros y ratones. Los macrófagos están en íntima asociación con las células de Leydig y actúan juntos en la regulación de la esteroidogénesis.

3.4. DIFERENCIAS ENTRE OVOGÉNESIS Y ESPERMATOGÉNESIS*

Mientras que en la hembra la ovogénesis se inicia durante la vida fetal, en el macho la espermatogénesis empieza en la pubertad. En la hembra, de un ovocito primario se origina un óvulo; en el macho, de un espermatozocito primario se producen teóricamente cuatro espermatozoides.

Otra característica interesante es que mientras la hembra ya cuenta desde el nacimiento con todos los ovocitos que necesitará en la vida adulta, el macho necesitará llegar a la pubertad para iniciar el desarrollo de las células sexuales, ya que al nacer solamente tiene los gonocitos precursores de las células germinales, células de Sertoli y células intersticiales.

En la vida de la hembra, el número de células germinales desaparece paulatinamente. Una vez que se inicia la espermatogénesis en el macho, a cada ciclo del epitelio seminífero las células germinales son renovadas

* Véase la figura 3.10.

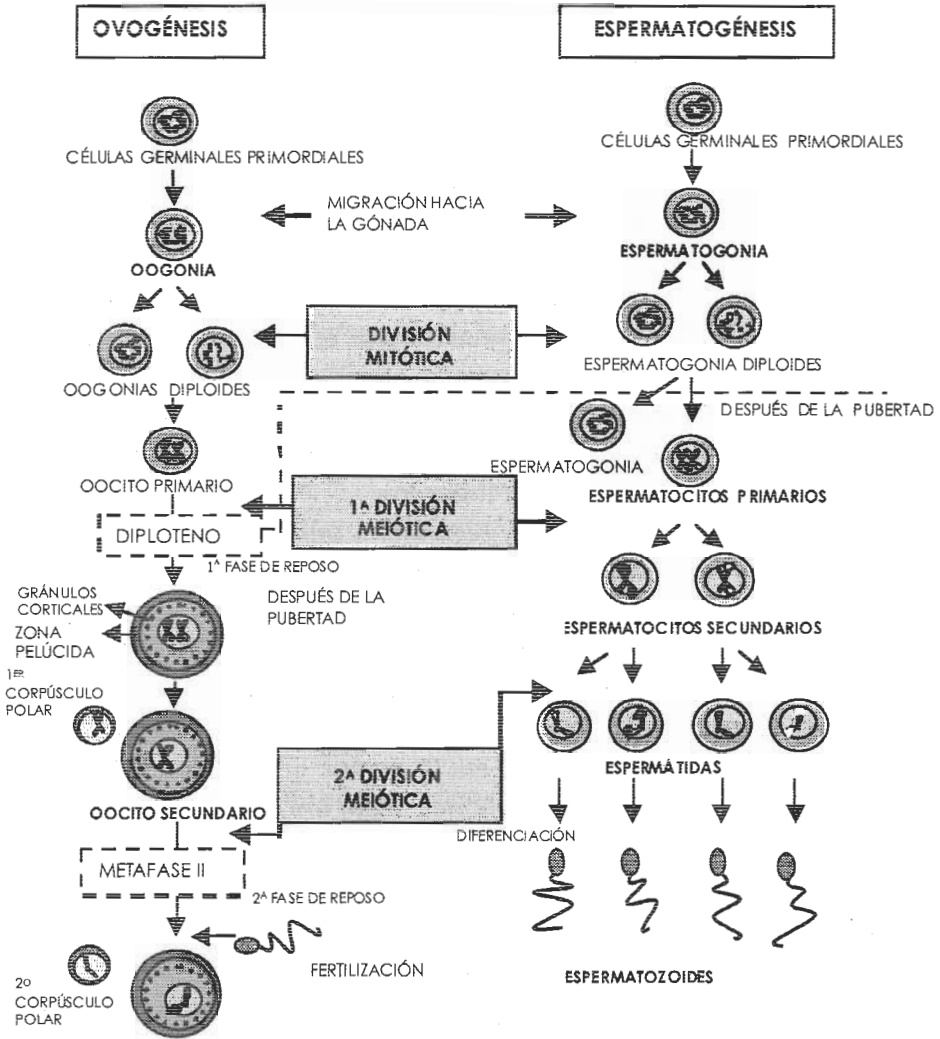


Figura 3.10. Representación diagramática comparativa del desarrollo de la gametogénesis

manteniendo la provisión para toda la vida reproductiva. En la hembra, la meiosis sufre dos interrupciones en su transcurso, y en el macho es ininterrumpida.

3.5. LITERATURA RECOMENDADA

Abdel Roouf, A. 1960. *The post-natal development of the reproductive organs in bull with special reference to puberty*. Acta Endocr. 34:1.

Albertini, D.F., Carabatsos, M.J. 1998. *Comparative aspects of meiotic cell cycle control in mammals*. J Mol Med-JMM 76:795.

Backer, T.G. 1982. "Oogenesis and ovulation". En: *Germ cells and fertiliza-*

- tion. Reproduction in mammals.* Austin, C.R., y Short, R.V. (editores) Cambridge University Press.
- Choudary, J. B., Gier, H.T., y Marion, G.B. 1968. *Cyclic changes in bovine vesicular follicles.* J Anim Sci 27: 468.
- Clermont, Y., Perey, B. 1957. *Quantitative study of the cell population of the seminiferous tubules in immature rats.* Am J Anat 100: 241.
- Epifano, O., Dean, J. 2002. *Genetic control of early folliculogenesis in mice.* Trends Endocrin Met 13:169.
- Erikson, B.H. 1966. *Development and senescence of the postnatal bovine ovary.* J Anim Sci 25: 800.
- Galina, C.S. 1971. "A study of the development of testicular function and an evaluation of testicular biopsy in farm animals". *Tesis de doctorado.* Universidad de Londres, Inglaterra.
- Gallicano, G.I. 2001. *Composition, regulation, and function of the cytoskeleton in mammalian eggs and embryos.* Front Biosci 6:1089.
- García, H.C., Russell, L.D. 2001. *High-resolution microscopic characterization of mouse spermatogonia.* Biol Reprod 65:1170.
- Gnessi, L., Fabbri, A., Spera, G. 1997. *Gonadal peptides as mediators of development and functional control of the testis: An integrated system with hormones and local environment.* Endocr Rev 18:541.
- Hedger, M.P. 1997. *Testicular leukocytes: What are they doing?* Rev Reprod 2:38.
- Hutson, J.C. 1994. *Testicular macrophages.* Int Rev Cytol 149:99.
- Kierszenbaum, A.L., Tres, L.L. 2001. *Primordial germ cell-somatic cell partnership: A balancing cell signaling act.* Mol Reprod Dev 60:277.
- Knobil, E., y Neill, J.D. 1994. *The physiology of reproduction.* Raven Press, Nueva York.
- Matzuk, M.M., Burns, K.H., Viveiros, M.M., Eppig, J.J. 2002. *Intercellular communication in the mammalian ovary: Oocytes carry the conversation.* Science 296 :2178.
- McLaren, A. 2000. *Germ and somatic cell lineages in the developing gonad.* Mol Cell Endocrinol 163:3.
- Merchant-Larios, H., Moreno-Mendoza, N. 2001. *Onset of sex differentiation: Dialog between genes and cells.* Arch Med Res 32:553.
- Nakatsuji, N., Chuma, S. 2001. *Differentiation of mouse primordial germ cells into female or male germ cells.* Int J Dev Biol 45:541.
- Nilsson, E., Parrott, J.A., Skinner, M.K. 2001. *Basic fibroblast growth factor induces primordial follicle development and initiates folliculogenesis.* Mol Cell Endocrinol 175:123.

- Pedersen, T. 1972. "Follicle growth in the mouse ovary". En: Biggers, J.D., y Schuetz, A.E. (eds). *Oogenesis*. Univ. Park. Press, Baltimore.
- Roser, J.F. 2001. *Endocrine and paracrine control of sperm production in stallions*. Anim Reprod Sci 68:139.
- Russel, L.D., Ettlin, R.A., Sinhaikim, A.P. et al. 1990. *Histological and histopathological evaluation of the testis*. Clearwater: Cache River, Clearwater. 286 p.
- Saitou, M., Barton, S. C., y Surani, M. A. 2002. *A molecular programme for the specification of germ cell fate in mice*. Nature 418: 293.
- Sawyer, H.R., Smith, P., Heath, D.A., Juengel, J.L., Wakefield, S.J., McNatty, K.P. 2002. *Formation of ovarian follicles during fetal development in sheep*. Biol Reprod 66:1134.
- Scaramuzzi, R.J., Martensz, N.D., y Van Look, P.F.A. 1980. *Ovarian morphology and the concentration of steroids and of gonadotrophins during the breeding season in ewes actively immunized against oestradiol 17 β or oestrone*. J Reprod Fertil 59:303.
- Seidel, G.E., y Niswender, G.D. 1980. *Control of folliculogenesis and ovulation in domestic puberal and adult function*. 9th Intern. Congr. Anim. Reprod. and Artif. Insem. 2-11.
- Skinner, M.K. 1991. *Cell-cell interactions in the testis*. Endocr Rev 12:45.
- Smits, J.E., Cortvrint, R.G. 2002. *The earliest stages of folliculogenesis in vitro*. Reproduction 123:185.
- Straaten, H.W., Warnsing, C.S.G. 1978. *Leydig cell development in the testis of the pig*. Biol Reprod 18:86.
- Tazuke, S.I., Schulz, C., Gilboa, L., Fogarty, M., Mahowald, A.P., Guichet, A., Ephrussi, A., Wood, C.G., Lehmann, R., Fuller, M.T. 2002. *A germline-specific gap junction protein required for survival of differentiating early germ cells*. Development 129: 2529.
- Turnbull, K.E., Braden, A.W.H., y Mattner, P.E. 1997. *The pattern of follicular growth and atresia in the ovine ovary*. Aust J Biol Sci 30: 229.
- Wrobel, K.H., Suss, F. 1998. *Identification and temporospatial distribution of bovine primordial germ cells prior to gonadal sexual differentiation*. Anat Embryol 197:451.

5. PUBERTAD, CICLO ESTRAL Y ESTACIONALIDAD*

CARLOS GUTIÉRREZ / LUCÍA RANGEL / ARANTZATZU LASSALA

- 5.1. PUBERTAD
- 5.2. CICLO ESTRAL
- 5.3. DESARROLLO FOLICULAR
- 5.4. ATRESIA FOLICULAR
- 5.5. LUTEÓLISIS
- 5.6. ESTACIONALIDAD
- 5.7. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PATRONES REPRODUCTIVOS
- 5.8. LITERATURA RECOMENDADA

5.1. PUBERTAD

La pubertad es la etapa del desarrollo en la que el individuo adquiere la capacidad de liberar gametos viables y, por lo tanto, de reproducirse. Es un *proceso* dinámico, gradual y progresivo que, aunque delimitado, no es un evento puntual. Para el productor puede manifestarse simplemente como el momento en el que la hembra presenta su primer estro conductual. Sin embargo, es un proceso que incluye una serie de cambios somáticos y celulares que, en conjunto, logran la coordinación de los componentes que la desencadenan.

La pubertad precede a la madurez sexual, ya que el organismo continúa su crecimiento y maduración hasta expresar su máximo potencial reproductivo. En general, los mamíferos llegan a la pubertad cuando alcanzan 60% de su peso corporal adulto. La fertilidad en las hembras púberes es en promedio menor a la obtenida en animales maduros, lo que pudiera tener una razón evolutiva, ya que el costo metabólico de la gestación y la lactancia sería muy alto en los individuos que no han completado su desarrollo. Por otro lado, cuando una hembra queda gestante antes de alcanzar la madurez, factores como el tamaño de la pelvis o la capacidad de producción láctea pudieran comprometer la supervivencia de las crías.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Actividad reproductiva de la hembra I", elaborado por Alberto Saltiel.

En las hembras sexualmente maduras, los procesos de ovulación y producción de hormonas esteroides por los folículos ováricos están regulados por la liberación de las hormonas folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH), que provienen del lóbulo anterior de la glándula pituitaria (o hipófisis). La síntesis y secreción de LH está controlada a su vez por una hormona de origen hipotalámico llamada hormona liberadora de LH o GnRH. Esta hormona es secretada por las terminales nerviosas hacia los capilares fenestrados de un sistema de circulación portal que llega a la pituitaria. Los esteroides gonadales modulan la secreción de GnRH a través de mecanismos de retroalimentación tanto positiva como negativa. Así, se forma un eje neuroendocrino conocido como eje hipotálamo-hipofisario-gonadal, que constituye la columna vertebral del sistema que controla la función reproductiva en un individuo.

Durante el desarrollo perinatal, el sistema neurosecretor de la GnRH sufre una serie de cambios característicos del género, que dependen del ambiente esteroideal al que se vea sometido. En términos reproductivos, estos cambios se traducen en patrones diferentes de secreción de GnRH en los animales de distinto sexo. Así, mientras que los machos liberan GnRH sólo en forma de pulsos intermitentes, las hembras pueden hacerlo también como una emisión cuya concentración es sustancialmente mayor que en los pulsos intermitentes y que es conocida como pico preovulatorio de GnRH. Los circuitos neuronales que regulan estos distintos tipos de secreción en la hembra se conocen como centro tónico y centro cíclico, respectivamente. En el macho sólo el centro tónico es operativo. Se sabe que la regulación de la transcripción de la expresión del gen que codifica para la subunidad β de la LH tiene un dimorfismo sexual que permite la generación del pico preovulatorio de LH en las hembras. La retroalimentación negativa que ejercen los estrógenos sobre la liberación de GnRH actúa en el centro tónico mientras que la positiva lo hace en el centro cíclico. La localización precisa de los centros tónico y cíclico, es decir, los sitios específicos en los que se produce GnRH en el hipotálamo, puede diferir entre especies.

Las células nerviosas que componen al centro tónico, reciben e integran la información proveniente de las pautas metabólicas, medioambientales y endocrinas, determinando así una frecuencia y una amplitud de liberación de GnRH. Estas características rítmicas de la emisión de GnRH por el centro tónico del hipotálamo son esenciales para que la secreción de LH permita una expresión normal de la función gonadal. Los mecanismos neurobiológicos que sincronizan la actividad de las neuronas de GnRH para generar una secreción pulsátil comprenden, por un lado, propiedades biofísicas propias de las células que les confieren un comportamiento rítmico intrínseco, y por

el otro, la participación de elementos externos aferentes como el neuropéptido Y (NPY) y la norepinefrina. El generador cíclico de GnRH se regula por la acción de retroalimentación positiva del estradiol proveniente de los folículos ováricos durante el periodo preovulatorio. Las neuronas secretoras de GnRH contienen sitios de unión para estradiol (receptor β), lo que indica que los efectos de los esteroides en la secreción de GnRH pueden ser directos o indirectos, a través de sistemas neuronales alternos. Los pulsos de GnRH estimulan la expresión de los genes que codifican para la producción de las subunidades de gonadotropinas. Por lo tanto, un pulso de LH es siempre precedido por un pulso de GnRH independientemente del centro de donde provenga. Además de estimular la liberación de GnRH por el hipotálamo, el estradiol estimula la secreción de LH por la hipófisis.

Teoría del gonadostato: en el estudio de los factores que intervienen en la presentación de la pubertad, se comprobó tempranamente que la capacidad de respuesta de la hipófisis y de las gónadas en los animales inmaduros era muy similar a la observada en los animales adultos. Es decir que, cuando se le administraba GnRH a un individuo antes de la pubertad, se lograba la liberación de LH por la hipófisis. Igualmente, cuando se aplicaban gonadotropinas exógenas, el ovario era capaz de desarrollar folículos en respuesta a la FSH y de ovularlos por un estímulo de LH. Sin embargo, el mecanismo de la secreción de pulsos de GnRH estaba inhibido. En las hembras prepúberes, se pudo constatar que los ovarios presentaban oleadas de crecimiento folicular y producción de estradiol; sin embargo, los folículos no completaban su maduración ni podían ovularse, lo que indicaba que el patrón de pulsatilidad de GnRH y por lo tanto de LH, era distinto al de los animales maduros. Así, se estableció que los componentes del sistema neuroendocrino que controlan la reproducción son potencialmente funcionales poco después del nacimiento. Sin embargo, el centro tónico del hipotálamo es extremadamente sensible a la retroalimentación negativa de los esteroides producidos por el ovario y, por lo tanto, la secreción de GnRH se inhibe. Este efecto está claramente demostrado en borregas ovariectomizadas, en las que ante la ausencia de esteroides gonadales la secreción de gonadotropinas aumenta, y cuando los esteroides son restablecidos por administración exógena, la liberación de LH disminuye. Eventualmente, esta excesiva sensibilidad se va perdiendo, permitiéndose un patrón de secreción de gonadotropinas que estimula un mayor desarrollo folicular y, como consecuencia, un incremento en la producción de estradiol. Esto dio lugar a lo que se conoce como teoría del gonadostato. De la misma forma, se observó que la capacidad del hipotálamo de emitir un pico de GnRH en respuesta a la retroalimentación positiva de los estrógenos, era pobre en animales muy

jóvenes, pero aumentaba conforme se aproximaban a la pubertad. Cuando el centro cíclico ha desarrollado su capacidad de respuesta y la concentración periférica de estradiol es suficiente, se desencadena la liberación masiva de GnRH característica del pico preovulatorio y ocurre la primera ovulación que demarca la llegada a la pubertad. En el macho, la retroalimentación negativa hacia la secreción tónica de GnRH se regula por la testosterona producida en el testículo. Al igual que en la hembra, la sensibilidad del hipotálamo se va perdiendo conforme el individuo se acerca a la pubertad, permitiendo que se establezca la espermatogénesis. La teoría del gonadostato propone entonces que la pubertad depende de una sensibilidad diferencial del hipotálamo a la retroalimentación negativa de los esteroides gonadales, y que el factor limitante principal es el patrón de liberación de los centros secretores de GnRH.

Teoría de la maduración central: algunas investigaciones posteriores hechas en primates, revelaron que la inhibición impuesta a la secreción pulsátil de GnRH podría provenir de elementos independientes de los esteroides, ya que la castración de animales prepúberes (y por lo tanto la eliminación de la retroalimentación negativa de origen gonadal) no desencadenaba un aumento en la frecuencia de liberación de GnRH. En contraste, en ratas y ovinos castrados, el aumento en la liberación de gonadotropinas ocurría en cualquier momento, a partir del periodo postnatal. Así, se generó una segunda teoría que sostiene que la maduración de los diferentes sistemas neuronales puede diferir entre especies y le atribuye un papel fundamental al desarrollo hipotalámico. Esta propuesta, que no es completamente excluyente de la anterior (teoría del gonadostato), establece que el principal determinante del momento en el que la inhibición prepuberal del generador de pulsos de GnRH es instituida o eliminada, es independiente de la secreción gonadal. Sin embargo, la liberación de GnRH eventualmente estará sujeta a la influencia moduladora de los esteroides. Al parecer, la inhibición de la secreción pulsátil de GnRH después del nacimiento en los primates y hasta el desarrollo prepuberal, podría producirse por la inclusión de elementos inhibitorios o la pérdida de elementos estimuladores que afectan al generador de pulsos. El proceso que lleva a la pubertad podría encontrarse entonces bajo el control de una jerarquía de genes expresados en distintos sitios del hipotálamo en desarrollo.

Cualquiera que sea el mecanismo por el cual un individuo alcanza la pubertad, es claro que existe una interacción compleja entre los sistemas neuronales que pudieran participar directa o indirectamente en la secreción de GnRH. Entre ellos se destacan los que contienen opioides (β endorfina), ácido g-amino-butírico (GABA), glutamato, norepinefrina, dopamina y NPY. Además, estos circuitos pueden ser interdependientes o relacionarse con

otros alternos. Finalmente, su convergencia también es posible, ya que en las neuronas que componen a algunos de ellos se han encontrado receptores para estradiol, indicando que esta hormona podría intervenir en su funcionamiento.

Se sabe que los opioides suprimen la liberación de GnRH durante el ciclo estral y la gestación. Sin embargo, este sistema no parece estar activo antes del aumento puberal de estradiol. Esto puede deberse a que algunos de sus componentes (como el receptor μ) son activados por los estrógenos. Por lo tanto, los opioides parecen modular la secreción de GnRH sólo en los animales maduros.

El GABA inhibe la secreción de GnRH en los animales prepúberes. Sin embargo, al alcanzar la pubertad, su concentración se reduce, lo que aparentemente se debe a la maduración del transportador responsable del recambio de este neurotransmisor. Además, es posible que los cambios que se observan en las subunidades que conforman a los receptores de GABA hacia la pubertad regulen también la inhibición que ejerce este neurotransmisor sobre la secreción de GnRH. Por otro lado, las neuronas gabanérgicas podrían intervenir en la retroalimentación negativa de los esteroides, ya que en las hembras, éstas contienen receptores α para estradiol. Asimismo, en los machos, se ha visto que la tasa de recambio de GABA disminuye después de la castración, sugiriendo una modulación por parte de la testosterona.

El glutamato estimula la secreción de GnRH. La sensibilidad al estímulo por glutamato aumenta tanto en las ratas como en los monos que se acercan a la pubertad, ya que los receptores para este neurotransmisor en las neuronas de GnRH sufren cambios conformacionales que modifican su capacidad de respuesta. Por otra parte, las neuronas que secretan GnRH reciben innervación directa de neuronas glutaminérgicas. Las células nerviosas que liberan glutamato en el hipotálamo están reguladas parcialmente por el estradiol.

La secreción neuronal de norepinefrina se ha visto intensamente implicada en el control de la pulsatilidad de GnRH en los roedores. Los bloqueadores de la síntesis de catecolaminas retrasan la pubertad y la tasa de recambio de este neurotransmisor aumenta alrededor de la pubertad. Además, se ha visto que la secreción de norepinefrina en la eminencia media del hipotálamo es pulsátil y sincrónica con la liberación de GnRH. Adicionalmente, la actividad de las enzimas que sintetizan a la norepinefrina aumenta durante el periodo puberal. El control noradrenérgico de la secreción de GnRH podría ocurrir a nivel de receptores, ya que su número aumenta con la edad del animal.

Las neuronas dopaminérgicas forman sinapsis con las neuronas productoras de GnRH. Tanto las concentraciones de dopamina como su tasa de recambio se incrementan alrededor de la pubertad en las ratas. Existen diferencias de género en la maduración de las neuronas dopaminérgicas que parecen ser independientes de los esteroides.

El sistema neuronal del NPY se desarrolla paralelamente al de GnRH, lo que sugiere una interacción entre ambos. El NPY parece estar implicado en el mecanismo de la pubertad en pollos, ratas y monos. La secreción de NPY aumenta conjuntamente con el aumento puberal de GnRH en los monos rhesus hembra. Sin embargo, parece ser inhibitorio en monos machos.

La plasticidad del sistema nervioso y las relaciones que existen entre las neuronas, las células de la glía y las del endotelio vascular parecen jugar asimismo un papel muy importante en la presentación de la pubertad. Los cambios plásticos en el contacto anatómico entre la glía y las neuronas varían con el estado endocrino del animal. La modificación de la ubicación anatómica y por lo tanto de la correspondencia que existe entre las terminales nerviosas de las neuronas de GnRH y las células gliales, puede modular el acceso de las mismas a la vasculatura portal.

Las células gliales y endoteliales regulan también la función neuronal. En el hipotálamo, los astrocitos secretan diferentes factores de crecimiento capaces de estimular la liberación de GnRH indirectamente. La expresión del gen del factor de crecimiento transformante ($TGF\alpha$) aumenta en la pubertad de los roedores y los primates. El $TGF\alpha$ estimula la secreción de GnRH mediante la activación de complejos de receptores que llevan a la producción de prostaglandina E_2 (PGE_2), que se une a receptores específicos en las neuronas secretoras de GnRH. Los estrógenos facilitan la comunicación entre los astrocitos y las neuronas de GnRH estimulando la secreción de $TGF\alpha$ y la respuesta de las terminales nerviosas al estímulo por PGE_2 .

Los mecanismos que conducen a la pubertad y los eventos que la preceden pueden verse afectados por factores intrínsecos y extrínsecos al animal. El progreso de este proceso fisiológico depende parcialmente de la información genética, pero también de señales metabólicas y medioambientales. Estas últimas están en constante transición y ligan las condiciones en las que el animal se encuentra inmerso con el sistema nervioso central. Las concentraciones circulantes de elementos como el factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF-I) o la leptina, contribuyen a la modulación de los circuitos que desencadenan la liberación de GnRH. Por otro lado, algunos centros nerviosos superiores como la glándula pineal o el bulbo olfatorio, monitorean los cambios medioambientales y los transmiten al sistema de control hipotalámico.

5.2. CICLO ESTRAL

5.2.1. Definición

Durante su vida reproductiva, las hembras de las especies domésticas presentan ciclos estrales. Éstos comprenden una serie de eventos ováricos, endocrinos y conductuales recurrentes que tienen la finalidad de que ocurra la ovulación, el apareamiento y la gestación.

Un ciclo estral inicia con el momento de receptibilidad sexual o estro y concluye con el siguiente estro. Si después de la cópula se logra la fertilización, los ciclos estrales se ven interrumpidos por un anestro fisiológico. En algunas especies esta ciclicidad puede verse bloqueada por la época del año. Adicionalmente, eventos patológicos como infecciones reproductivas, persistencia del cuerpo lúteo, malnutrición y estrés, pueden causar la inhibición de los ciclos estrales.

5.2.2. Clasificación de las especies según la presentación de sus ciclos estrales

Para garantizar que las crías nazcan en la época del año más favorable para su supervivencia, algunas especies domésticas restringen su actividad reproductiva a un periodo del año, durante el cual pueden presentar varios ciclos estrales. Contrariamente, existen otras especies que ciclan durante todo el año. De acuerdo con lo anterior, las especies domésticas se clasifican según la presentación de sus ciclos estrales como:

Monoéstricas: especies que presentan un solo ciclo estral e inician un periodo de anestro, manifestando este patrón una, dos o hasta tres veces al año. Generalmente, los animales de este grupo presentan una fase de receptibilidad sexual muy prolongada para garantizar la fertilización. Dentro de esta clasificación se encuentran los caninos. Debe considerarse que las perras son capaces de reproducirse en cualquier época del año. Sin embargo, la presentación de celo tiende a acumularse a finales del invierno y principios de la primavera, sin que ello dependa del fotoperiodo.

Poliéstricas estacionales: son aquellas especies que se caracterizan por presentar una serie de ciclos estrales durante una temporada limitada del año. Aquí se encuentran los equinos, que se reproducen en las épocas del año de más horas luz o fotoperiodo creciente (primavera-verano); los felinos, que en zonas templadas presentan actividad ovárica entre enero y septiembre (o hasta noviembre) con una época de descanso reproductivo generalmente asociada a la disminución en la cantidad de luz; así como los ovinos y caprinos, que se reproducen durante los periodos de fotoperiodo decreciente (otoño-invierno).

Poliéstricas continuas: este grupo se caracteriza por presentar ciclos estrales durante todo el año. Ejemplos de estos animales son los bovinos y los porcinos.

5.2.3. Fases del ciclo estral

El ciclo estral consta de dos grandes etapas, dependiendo de las estructuras ováricas predominantes: la fase folicular y la fase lútea. La fase folicular inicia con la regresión del cuerpo lúteo y finaliza con la ovulación. Durante esta fase ocurre la maduración folicular, por lo que el esteroide gonadal dominante es el estradiol. La fase lútea se refiere a la etapa del ciclo en la cual se forma y tiene su mayor funcionalidad el cuerpo lúteo, por lo tanto, la hormona dominante es la progesterona.

A su vez, con estas dos etapas pueden ser subdivididas de acuerdo con las características endocrinas y conductuales que manifiestan los animales en:

- Fase folicular: proestro y estro.
- Fase lútea: metaestro y diestro.

Adicionalmente, algunas especies podrán presentar las fases de anestro e interestro.

Los patrones endocrinos asociados con las fases del ciclo estral están representados en la figura 5.1.

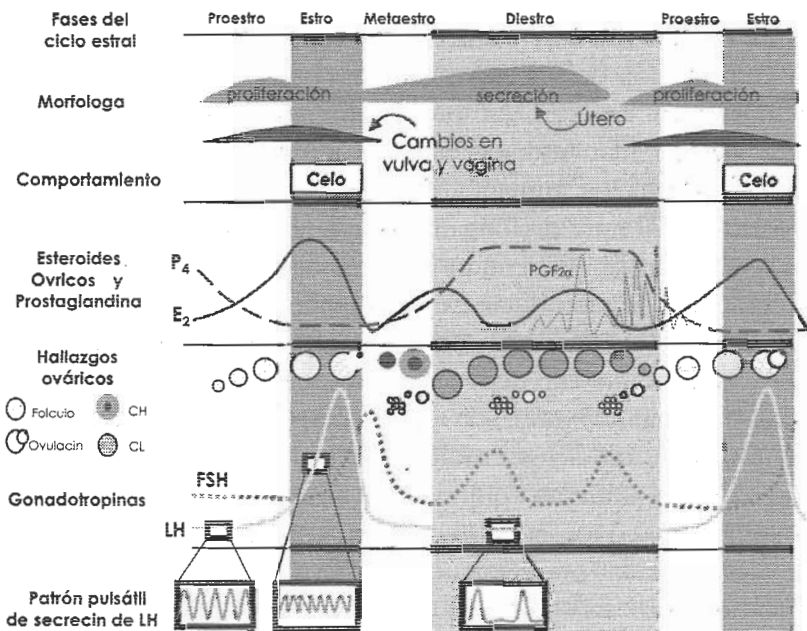


Figura 5.1. Fases del ciclo estral, cambios endócrinos y morfológicos asociados a ellas. P_4 = progesterona; E_2 = estradiol; FSH = hormona foliculo estimulante; $PGF_{2\alpha}$ = prostaglandina F_2 alfa; CL = cuerpo lúteo; CH = cuerpo hemorrágico

Proestro: esta fase comienza cuando ocurre la regresión del cuerpo lúteo (CL) del ciclo anterior, y las concentraciones de progesterona se disminuyen. Aquí aumenta la producción de estradiol e inhibina secretados por el o los folículos que comenzaron su desarrollo durante el diestro. La duración del proestro está determinada por el grado de desarrollo en el que se encuentre el folículo. El final de esta etapa coincide con el inicio de la receptibilidad sexual.

La secreción de FSH es constante y no está regulada por GnRH (o LHRH), sino por el estradiol y la inhibina folicular. Por ello, durante el proestro las concentraciones de FSH son bajas. Contrariamente, la LH por efecto del estradiol ha comenzado a incrementar la frecuencia de secreción y a disminuir la amplitud de sus pulsos, lo que acentúa la producción de andrógenos por las células de la teca y la capacidad aromática de las células de la granulosa con el consecuente incremento en la producción de estradiol.

El aumento en la respuesta de la hipófisis al GnRH se debe a un incremento de sus receptores por la disminución en las concentraciones de progesterona. Adicionalmente, el estradiol estimula la formación de receptores para GnRH en hipófisis y la secreción de GnRH por el hipotálamo, acelerándose la liberación pulsátil de LH.

En esta fase, la creciente producción de estrógenos foliculares inicia la preparación del aparato reproductivo para el apareamiento. El útero se aprecia agrandado y edematoso, y las glándulas endometriales aumentan de tamaño, por lo cual se dice que entran en una fase proliferativa. En la vagina, el número de capas celulares del epitelio comienza a incrementarse y las capas superficiales se vuelven cornificadas. Estas modificaciones en el epitelio vaginal son muy características y sirven para determinar el momento del estro en las perras y las gatas. Adicionalmente, en la perra se aprecian edema e hiperemia vulvar muy marcados, los cuales generalmente se asocian con descarga vulvar sanguinolenta.

Desde el punto de vista endocrino, la perra difiere del resto de las especies domésticas, ya que uno a dos días antes del final del proestro se detectan las máximas concentraciones de estradiol, al tiempo que comienzan a incrementarse las de progesterona por la luteinización folicular antes de la ovulación.

En el caso de las yeguas no se habla de una fase de proestro, y los eventos que aquí ocurrirían se encuentran englobados dentro del estro, que tradicionalmente se nombrará fase folicular.

Estro: es la etapa de receptividad sexual o calor donde la hembra busca activamente al macho, acepta la monta y el apareamiento. Su nombre deriva del griego *oistros*, que significa deseo desenfrenado y hace alusión a la actitud

nerviosa de los animales cuando son picados por la mosca *oestridae*. Debido a que ésta es la etapa más fácilmente reconocible por la conducta que muestra la hembra, el inicio del ciclo estral (día cero) corresponde al primer día del estro.

En el ovario, el o los folículos en desarrollo alcanzan su madurez y tamaño preovulatorio, induciéndose las máximas concentraciones de estradiol. Durante este periodo se ejerce una retroalimentación positiva entre el estradiol y la LH, de modo que se produce el pico preovulatorio de LH que será responsable de la ovulación. Los estrógenos inducen la secreción de GnRH y por lo tanto el pico preovulatorio de LH activando neuronas que contienen receptores a estradiol fuera de los centros productores de GnRH. Estas células hacen sinapsis con las neuronas del área preóptica del hipotálamo y por medio de norepinefrina estimulan la liberación de GnRH. Adicionalmente, es posible que el estradiol actúe directamente en las neuronas productoras de GnRH, ya que se demostró la existencia de receptores ER β en las mismas. Aunado a lo anterior, se ha sugerido la participación de otros neurotransmisores y neuropéptidos en la modulación de la secreción de GnRH. Entre éstos se encuentran como estimuladores: adrenalina, serotonina, aminoácidos excitatorios (principalmente glutamato) y neurotensina. Como inhibidores actúan: GABA y opioides endógenos (principalmente β -endorfina).

Durante el estro ocurre la ovulación en las especies domésticas a excepción de los bovinos, que ovulan durante el metaestro (cuadro 5.1). La ovulación se manifiesta de forma espontánea en la mayoría de las especies domésticas, con excepción de la gata, la coneja y la llama, en las que es necesario que ocurra la cópula para inducirla, por lo que se conocen como especies de ovulación inducida. En los equinos el incremento en las concentraciones de LH ocurre en forma gradual, es decir, no se aprecia un pico preovulatorio como en el resto de las especies y el nivel máximo se alcanza 1 a 2 días después de que ha ocurrido la ovulación. En los caninos debe considerarse que aun cuando tradicionalmente se ha dicho que la ovulación ocurre dos días después de iniciado el estro, algunos autores mencionan que ésta puede llegar a darse desde dos días antes de finalizado el proestro. En las especies de ovulación inducida, la cópula provoca un reflejo neural que actúa a nivel hipotalámico para inducir la liberación de GnRH y, por lo tanto, el pico preovulatorio de LH.

Los estrógenos son los responsables de inducir la conducta sexual, que varía en intensidad entre las diferentes especies. Sus signos más característicos son: inquietud, aumento de la locomoción, vocalizaciones e inapetencia; sin embargo, el que es considerado como definitivo del estro es la inmovilidad frente al macho para aceptar la cópula. En las perras es necesario que disminuyan las concentraciones de estradiol para que se inicie la conducta sexual. En los rumiantes el cerebro requiere una exposición previa

Cuadro 5.1. Momento de la ovulación en las diferentes especies domésticas: el momento de la ovulación está íntimamente relacionado con el pico de LH que en forma general ocurre durante el estro

ESPECIE	PICO DE LH	OVULACIÓN
Bovina	28 h	4-16 h después de finalizado el estro
Ovina	24-26 h	18-24 h después de iniciado el estro
Caprina	28 h	30-36 h después de iniciado el estro
Porcina	40 h	24-48 h después de iniciado el estro
Equina	--	1-2 d antes de finalizado el estro
Canina	24-48 h	2 d antes de finalizado el proestro a 2 d después de iniciado el estro
Felina	24 h	25-50 h después de la cópula
Camélido (llama)	24-72 h	26-74 h después de la cópula

h= horas, d= días, --= no se presenta previo a la ovulación.

a progesterona para sensibilizarlo a la acción del estradiol. Es por ello que la ovulación del primer ciclo estral de la pubertad o estación reproductiva no se acompaña de manifestación de celo.

El estradiol también produce cambios fisiológicos en el aparato reproductivo que tienen la finalidad de favorecer la atracción del macho, la cópula y la fertilización. El endometrio aumenta la síntesis de proteínas, produciéndose una secreción abundante que ayudará a la capacitación espermática. Hay secreción de moco cervical y vaginal con apariencia líquida y cristalina, y se aprecia la apertura del cérvix. El moco cervical tiene la finalidad de favorecer el desplazamiento de los espermatozoides al útero, así como de retener a aquellos espermatozoides no viables para que sean fagocitados o eliminados junto con las secreciones vaginales. La secreción del cérvix está compuesta por glicoproteínas y se reconocen dos tipos principales de fluidos: sialomucina, que corresponde a un moco poco viscoso producido en las áreas basales de las criptas cervicales, y sulfomucina, que es un moco de alta viscosidad producto de las células apicales (véase transporte de gametos y fertilización).

Durante esta etapa suceden contracciones de útero y oviducto con la finalidad de favorecer el transporte de los gametos para la fertilización. Esta acción está mediada por las concentraciones de estrógenos y ayudada en parte por las prostaglandinas del plasma seminal (PGF₂α y PGE). La irrigación sanguínea se incrementa ocasionando hiperemia y congestión del epitelio vaginal y del endometrio, por lo que el útero se encuentra firme. A este respecto, la yegua es la excepción, ya que durante el estro el útero se siente suave y edematoso, debido a que la irrigación está tan aumentada por efecto del estradiol que ocurre una extravasación de líquidos.

Metaestro: esta etapa principia cuando ha terminado la receptividad sexual y concluye en el momento en que hay un CL funcional bien establecido.

Corresponde al periodo de transición entre la predominancia estrogénica y el incremento en las concentraciones de progesterona. El estradiol y la inhibina disminuyen súbitamente después de la ovulación, permitiéndose el incremento en las concentraciones de FSH que causan el reclutamiento de la primera oleada folicular.

Durante esta fase, el ovario contiene al CL que se desarrolla, llamado cuerpo hemorrágico, principalmente bajo influencia de la LH. Sin embargo, otras hormonas participan también en la luteinización. La LH promueve la formación de receptores para hormona del crecimiento (GH) y se ha visto que el tratamiento con GH en animales hipofisectomizados restablece la función normal del CL. En especies como los roedores, la formación del CL está mediada por prolactina. Esta hormona también ha demostrado tener un efecto luteotrópico en las perras y es esencial para mantener la producción de progesterona por el CL.

Para la formación del CL, las células de la granulosa y de la teca del folículo que ovuló inician inmediatamente su luteinización y diferenciación en células esteroideogénicas lúteas grandes y chicas, respectivamente. Las características de los dos tipos de células lúteas son diferentes. Se considera que las células lúteas grandes liberan oxitocina y progesterona en forma continua y que su secreción de progesterona en respuesta a LH es baja. Contrariamente, las células lúteas chicas no secretan oxitocina, casi no producen progesterona basal, pero son responsables de la secreción de progesterona mediada por LH.

Para el desarrollo del cuerpo lúteo es esencial la formación de una red vascular, ya que es la estructura que proporcionalmente recibe el mayor flujo sanguíneo del organismo. Los mediadores angiogénicos más importantes son el factor de crecimiento de fibroblastos (FGF), que estimula la proliferación de las células endoteliales por acción de la LH, especialmente en la etapa inicial del desarrollo lúteo, y el factor de crecimiento endoteliovascular (VEGF), que promueve la invasión de las células endoteliales a la capa de células de la granulosa y la organización y mantenimiento de la microvasculatura del CL.

Por otro lado, el aumento en la concentración de progesterona provoca cambios físicos induciendo a las glándulas endometriales a que inicien su fase secretora y produzcan el histotrofo o leche uterina. Estas secreciones tienen la finalidad de nutrir al embrión hasta que se lleve a cabo la implantación. Lo anterior es posible gracias a que los estrógenos preovulatorios favorecieron la formación de receptores uterinos a progesterona. Las secreciones uterinas están básicamente compuestas por glicoproteínas, entre ellas la uteroferrina, que se encarga de transportar hierro, así como otras responsables de disminuir la

respuesta linfocitaria. Como consecuencia de la disminución en las concentraciones de estrógenos, hay una reducción en la tonicidad uterina, en la secreción del moco cervical, en la hiperemia y el edema vulvar.

Algunas vacas pueden presentar un sangrado vulvar durante esta etapa, el cual se asocia con el momento de la ovulación y la abrupta interrupción de la secreción de estrógenos.

En las perras no existe la etapa de metaestro debido a que la ovulación ocurre entre el final del proestro y el principio del estro, de modo que, para cuando la conducta sexual concluye, los cuerpos lúteos ya están formados. De modo similar, las gatas no presentan esta etapa, ya que si la ovulación se induce, entran a la fase de diestro, y si no ocurre, pasan de la fase de estro al interestro.

En el ciclo estral de las yeguas esta fase queda incluida dentro del diestro o fase lútea, el cual se inicia al momento que cesa la conducta estral.

Diestro: ésta se considera la etapa más larga del ciclo estral y se caracteriza por la plena funcionalidad del cuerpo lúteo, abarcando desde que esta estructura es funcional hasta la destrucción del mismo.

Durante esta fase, la progesterona alcanza sus máximas concentraciones y ejerce un efecto negativo en la liberación de LH debido a que inhibe la formación de receptores hipofisarios a GnRH, así como la secreción de GnRH. Adicionalmente, se observan repetidos incrementos en la secreción de FSH con el consecuente aumento en el desarrollo folicular y las concentraciones plasmáticas de estradiol e inhibina. Sin embargo, estos folículos no pueden concluir su maduración y sufren regresión. La yegua es la única hembra doméstica que en forma natural puede ovular durante el diestro, con una incidencia de hasta 25%.

La progesterona estimula la actividad secretora del endometrio con la finalidad de albergar una posible gestación; adicionalmente, el cérvix se cierra y se reduce la secreción del moco cervical y vaginal, el cual adopta una apariencia pegajosa y opaca para impedir el paso de microorganismos al útero. También es posible detectar la liberación endometrial de IGF-1 que favorece la capacidad mitogénica del endometrio y estimula el desarrollo del blastocisto.

Al término del diestro, los estrógenos han sensibilizado al endometrio para que forme receptores a oxitocina. En ese momento se inicia un mecanismo de retroalimentación positiva para la secreción de prostaglandina $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$). La función de la $PGF_2\alpha$ es destruir al cuerpo lúteo cuando no ocurrió la fertilización. Debe considerarse que para que el útero sea capaz de producir $PGF_2\alpha$ tiene que tener un periodo previo de exposición a progesterona, durante el cual se incrementa tanto el contenido de precursores de las prostaglandinas en el endometrio, como el ácido araquidónico.

Anestro: se considera como un periodo de inactividad reproductiva. Aun cuando continúa habiendo actividad hormonal y desarrollo folicular, el estímulo es insuficiente para que ocurra la maduración folicular y la ovulación. A lo largo de esta fase no habrá cambios conductuales ni morfológicos en las hembras.

En especies estacionales el anestro es muy importante, ya que limita la época reproductiva de modo que los partos ocurran en la mejor época del año. En caninos el anestro es considerado como una fase más del ciclo estral, de modo que es la etapa entre el final del diestro de un ciclo y el inicio del proestro del siguiente. Para esta especie el anestro representa la etapa más larga del ciclo estral. En el caso de las especies poliéstricas continuas, el anestro se presentará en casos fisiológicos como la gestación y el amamantamiento, o por condiciones patológicas que interrumpen la ciclicidad.

Anestro posparto: durante el periodo de gestación, de modo similar a lo que ocurre en la fase lútea del ciclo o en el anestro, el desarrollo folicular continúa. Sin embargo, en la última etapa de la gestación y en los primeros días después del parto, se bloquea el ritmo natural de secreción de GnRH, debido a los efectos que ocasionan las altas concentraciones de las hormonas esteroides que se producen en la placenta y los ovarios. Este ambiente hormonal deprime en primera instancia a los niveles plasmáticos de FSH y LH, afectando en consecuencia el desarrollo folicular durante el periodo posparto temprano.

Las concentraciones de 17β -estradiol después del parto son muy bajas porque no hay folículos grandes. Después del día 9 posparto estos niveles se incrementan y presentan fluctuaciones debido al crecimiento y regresión de los folículos dominantes. El aumento en la concentración de estradiol induce la liberación de LH por retroalimentación positiva, ocasionando la ovulación y el reinicio de la actividad ovárica. Por su parte, la progesterona se encuentra en niveles basales o no detectables y permanece así hasta que se induce la luteinización folicular o la formación del cuerpo lúteo después de la primera ovulación.

Las concentraciones de FSH permanecen bajas durante los primeros días después del parto; sin embargo, tienden a elevarse rápidamente en el posparto, causando el reclutamiento folicular con la aparición de los primeros folículos dominantes. Esto se ha detectado por ultrasonografía entre los días 7 y 10 posparto en vacas productoras de leche, entre los días 10 y 15 en vacas productoras de carne y entre los días 26 y 78 en vacas cebú manejadas de manera extensiva en la zona tropical. Existe amplia evidencia de que la FSH y el desarrollo folicular en el ovario no limitan el restablecimiento de la actividad reproductiva posparto.

Las bajas concentraciones de LH en el posparto son el resultado de una frecuencia de secreción reducida (0.8 a 2.3 pulsos/6 h). La recuperación pulsátil de LH en el ganado lechero ocurre entre los días 13 y 19 posparto, mientras que para el ganado de carne se observa entre los días 25 y 32 posparto.

Cuadro 5.2. Duración del ciclo estral y sus fases en las diferentes especies domésticas

ESPECIE	CICLO	PROESTRO	ESTRO	METAESTRO	DIESTRO	INTERESTRO	ANESTRO
Bovina	21 d (17-24)	3 d	12-18 h	2 d	15 d	--	Posparto Lactancional (razas de carne)
Ovina	17 d (13-19)	2 d	36 h (24-48)	2 d	12 d	--	Estacional
Caprina	21 d	2 d	18-36 h	2 d	15 d	--	Estacional
Porcina	21 d (17-25)	2 d	24-72 h	2 d	14 d	--	Lactancional
Equina	21 d (15-26)	--	4-7 d	--	14-15 d	--	Estacional
Canina		9 d (3-20)	9 d (3-20)	--	63 d gestantes 80-100 d vacías	--	90-150 d
Felina		1-2 d	7 d (3-16)	--	35-37 d	8 d (2-19)	Estacional

d= días; h= horas; --= no se presenta esta fase; ()= rango.

Los receptores hipofisarios de GnRH y 17β -estradiol permanecen constantes o se incrementan entre los días 10 y el 15 después del parto. Esto indica que la sensibilidad de la hipófisis para dichas hormonas no es la limitante para el reinicio de los pulsos de LH. La ausencia de pulsos de LH durante el posparto no se debe a la falta de GnRH hipotalámica, sino a la incapacidad de la hipófisis para almacenar LH durante la gestación. En vacas cíclicas, la hipófisis almacena LH constantemente y al ocurrir el pico preovulatorio esta reserva se abate, restaurándose un día después de la ovulación. En el posparto, la hipófisis incrementa gradualmente su contenido de LH hasta el día 20, alcanzándose niveles parecidos a los de las vacas cíclicas alrededor del día 30.

Interestro: ésta es una fase de reposo entre oleadas foliculares y es característica del ciclo estral de los felinos y la llama. A lo largo de esta etapa no hay conducta sexual. Su presentación se debe ya sea a que no ocurrió la monta o a que ésta fue incapaz de inducir la ovulación, por lo que los folículos ováricos sufren regresión dando lugar a un nuevo reclutamiento folicular.

Existen variaciones en la duración del ciclo estral y de sus fases en las diferentes especies domésticas (cuadro 5.2).

Para una explicación más detallada se sugiere al lector referirse a los capítulos correspondientes.

5.3. DESARROLLO FOLICULAR

Las hembras de las especies domésticas nacen con un número determinado de ovocitos y folículos ováricos, gran parte de los cuales sufrirán atresia y nunca serán ovulados. A lo largo de la vida de la hembra, los folículos primordiales permanecen en un estado de reposo y cada cierto tiempo algunos son seleccionados para desarrollarse. El desarrollo folicular es un proceso

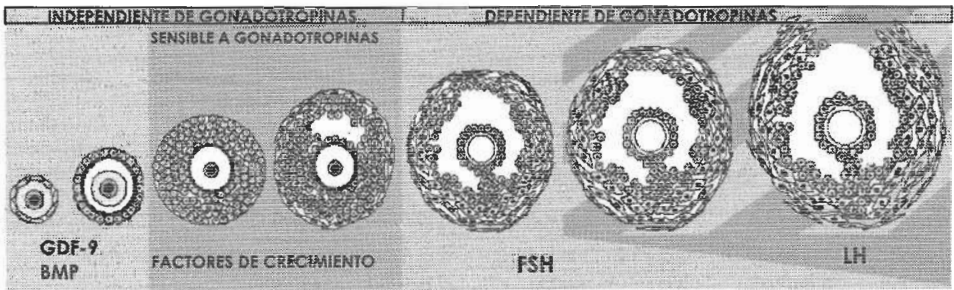


Figura 5.2. Hormonas tróficas en las diferentes fases del desarrollo folicular y su sensibilidad al estímulo de gonadotropinas. GDF-9 = factor de crecimiento y diferenciación; BMP = proteína morfogénica de hueso; FSH = hormona foliculo estimulante; LH = hormona luteinizante.

continuo que culmina ya sea con la ovulación del folículo madurado o con la regresión del mismo (figura 5.2).

Foliculogénesis inicial: se considera que el desarrollo folicular inicia desde la vida fetal, y dos semanas después del nacimiento pueden encontrarse folículos en todas las fases de desarrollo excepto preovulatorios. Los primeros signos morfológicos de crecimiento folicular son la proliferación de células de la granulosa, las cuales cambian de una forma plana a una cúbica, así como el crecimiento del ovocito. El inicio del crecimiento del folículo es aparentemente independiente del estímulo gonadotrófico y está regulado por factores producidos localmente tanto dentro del ovario como dentro del folículo mismo. Entre éstos se encuentran factores de crecimiento de la superfamilia $TGF\beta$ (transforming growth factor- β), como el factor de crecimiento y diferenciación (growth differentiating factor-9, GDF-9) y la proteína morfogénica de hueso (bone morphogenetic protein, BMP), que son producidos únicamente por el ovocito y cuya falta detiene el crecimiento del folículo en estadio primario.

Una vez que se ha iniciado el crecimiento, los folículos continúan desarrollándose por estímulo de factores de crecimiento tales como IGF-I, EGF, $TGF\alpha$, inhibina y activina, entre otros. Estudios en ratones carentes de IGF-I demostraron que esta hormona es necesaria para el crecimiento folicular y la formación del antro.

Los receptores para FSH se expresan en células de la granulosa desde las primeras etapas foliculares, y estudios *in vitro* han demostrado que la FSH acelera el crecimiento de folículos preantrales. Sin embargo, se ha visto que en ovejas hipofisectomizadas, los folículos alcanzan un tamaño de hasta 2 mm de diámetro, por lo cual se consideran independientes de gonadotropinas. Así, en la foliculogénesis inicial, los folículos se consideran independientes pero sensibles a gonadotropinas.

Foliculogénesis dependiente de gonadotropinas: conforme avanza el desarrollo folicular, los folículos se vuelven altamente sensibles a las gonadotropinas y requieren de ellas para continuar su crecimiento. Esta fase se divide en tres etapas: reclutamiento, selección y dominancia.

Reclutamiento: durante esta etapa un conjunto de folículos se desarrollan simultáneamente por estímulo de FSH. El tamaño en el que el folículo es dependiente de gonadotropinas y puede ser reclutado varía según la especie (por ejemplo: ratón: folículo preantral; ovino: 2 mm de diámetro; y bovino: 4 mm de diámetro). En esta fase los folículos inician la secreción de estradiol e inhibina, hormonas que paulatinamente suprimen la liberación de FSH.

Selección y dominancia: de acuerdo con la tasa ovulatoria de la especie, uno o varios folículos se convierten en dominantes y continúan desarrollándose. El folículo dominante bloquea el soporte hormonal para el resto de los folículos que comenzaron su crecimiento, induciendo su atresia y reprimiendo el reclutamiento de una nueva oleada. Esto se logra mediante la disminución de la secreción hipofisiaria de FSH inducida por la retroalimentación negativa de estradiol e inhibina que secreta el folículo.

El folículo dominante logra sobrevivir en un ambiente pobre en FSH gracias al desarrollo de receptores para LH en las células de la granulosa (lo cual se observa en folículos de 8 a 9 mm de diámetro en bovinos y de 4 mm en ovinos) y a que su dependencia cambia hacia esta hormona. Así pues, el folículo dominante se mantiene principalmente gracias a la LH, aunque también requiere de FSH en niveles basales. Adicionalmente, este folículo produce mayores concentraciones de estradiol debido a una mayor expresión de receptores de gonadotropinas, enzimas esteroidogénicas y de StAR (steroid acute regulatory protein).

Aun cuando las etapas finales de desarrollo folicular son dependientes de gonadotropinas, es necesario que éstas interactúen con factores autocrinos del ovario. El folículo produce IGF (I o II), que es potente estimulador de la esteroidogénesis y la multiplicación celular. Igualmente otros factores como inhibina y activina son estimuladores de la esteroidogénesis.

Durante el ciclo estral, bajo la influencia de progesterona lútea, se presentan oleadas de crecimiento folicular en las cuales el folículo dominante sufre atresia y se inicia un nuevo reclutamiento. Una vez que las concentraciones de progesterona disminuyen, el aumento en la frecuencia de secreción de LH es suficiente para que concluya la maduración folicular y se produzca la ovulación. Las oleadas de desarrollo folicular se presentan también en la vida fetal y continúan en el estado prepuberal, gestación temprana, en el periodo posparto e incluso durante los periodos de anestro.

5.4. ATRESIA FOLICULAR

Se entiende por atresia al proceso de regresión de los folículos, la cual ocurre en 99% de los folículos presentes en el ovario, con excepción de aquellos que son ovulados. La atresia de los folículos no seleccionados puede

ser un mecanismo evolutivo que asegura que sólo los folículos con los mejores ovocitos progresen hasta la ovulación, asegurando el número correcto de ovulaciones por especie. Después de la activación de los folículos primordiales, la atresia puede ocurrir en cualquier momento, aunque es más frecuente en los estadios de dependencia de gonadotropinas.

Se ha sugerido que la atresia se presenta en el momento en que las células de la granulosa están en su etapa de mayor replicación mitótica, por lo que sus requerimientos de nutrientes y oxígeno se encuentran al máximo. Esta situación, junto con el agrandamiento de la pared folicular, puede resultar en deficiencia de oxígeno. Sin embargo, la producción de factores autocrinos y paracrinos en el ovario, aunada a las gonadotropinas, ayudan al folículo preovulatorio a aumentar la vascularización para sobrevivir en condiciones hipóxicas.

Histológicamente, los folículos atréticos se caracterizan por un incremento de núcleos picnóticos en la membrana granulosa y desprendimiento de células de la granulosa. En estados avanzados hay degeneración de la membrana basal, así como reducción del número de células de granulosa. La producción de estradiol disminuye como consecuencia de la reducción en la expresión de las enzimas esteroidogénicas (17α hidroxilasa/C17-20 ligasa y P450aromataza).

5.5. LUTEÓLISIS

El cuerpo lúteo es una glándula temporal presente durante el diestro y la gestación. La ciclicidad de los animales depende de la regresión puntual del cuerpo lúteo. Es por ello que cuando no existe un embrión que prolongue/rescate al cuerpo lúteo, éste sufrirá luteólisis. Durante la fase de diestro, la progesterona bloquea la acción del estradiol y de la oxitocina. Esto último lo logra disminuyendo la concentración del receptor a oxitocina en el endometrio y cambiando su estructura mediante la adhesión de un nucleótido de guanina. Eventualmente la progesterona provoca el agotamiento de sus propios receptores (figura 5.3,1), de modo que hacia el final del diestro su inhibición cesa. Esta pérdida de actividad permite al estradiol (figura 5.3,2) inducir la formación de receptores para sí mismo y para la oxitocina en el endometrio (figura 5.3,3), y activar al centro generador de pulsos de oxitocina en el hipotálamo (figura 5.3,5). La acción de la oxitocina y el estradiol provoca un aumento en la actividad y en la concentración de la fosfolipasa A (enzima encargada de liberar ácido araquidónico de los fosfolípidos) y de la prostaglandina sintetasa (enzima responsable de transformar el ácido araquidónico en prostaglandina) (figura 5.3,4). Eventualmente, la neurohipófisis libera un pulso de oxitocina iniciando el proceso de luteólisis (figura 5.3,6). Esta oxitocina estimula la síntesis y secreción de $PGF2\alpha$ por el endometrio (figura 5.3,7). La acción luteolítica de la $PGF2\alpha$ está mediada por la presencia de

su receptor en las células grandes del cuerpo lúteo. La concentración de receptores para $\text{PGF}_2\alpha$ aumenta al progresar el ciclo estral. En los rumiantes, el cuerpo lúteo produce oxitocina y la almacena en gránulos de secreción. Cuando la $\text{PGF}_2\alpha$ endometrial llega al ovario, pasando de la vena uterina a la arteria ovárica, se provoca la liberación de oxitocina lútea complementaria (figura 5.3,8), iniciándose un mecanismo de retroalimentación positiva, que al actuar sobre el endometrio incrementa la secreción de $\text{PGF}_2\alpha$ (figura 5.3,7). Este circuito continúa hasta causar la luteólisis. En algunas especies (equinos y porcinos) el cuerpo lúteo no produce oxitocina, por lo que la secreción de $\text{PGF}_2\alpha$ depende principalmente del estímulo de la oxitocina que proviene de la hipófisis. Asimismo, se ha demostrado que el útero puede producir oxitocina capaz de complementar a la proveniente de la hipófisis, aumentando la secreción de $\text{PGF}_2\alpha$ al momento de la luteólisis.

Cabe señalar que el cuerpo lúteo debe alcanzar determinado grado de madurez para que pueda ser receptivo a la acción de la prostaglandina. De hecho, recientemente se determinó que para que la luteólisis ocurra, es necesario que el cuerpo lúteo haya desarrollado la capacidad de expresar prostaglandina sintetasa. En otras palabras, el cuerpo lúteo requiere producir $\text{PGF}_2\alpha$ en forma autocrina para lograr su lisis (figura 5.3,9).

La luteólisis consiste en la desintegración funcional y estructural del cuerpo lúteo. La primera se refiere a la caída en las concentraciones de progesterona mientras que la segunda abarca la regresión de la estructura lútea y

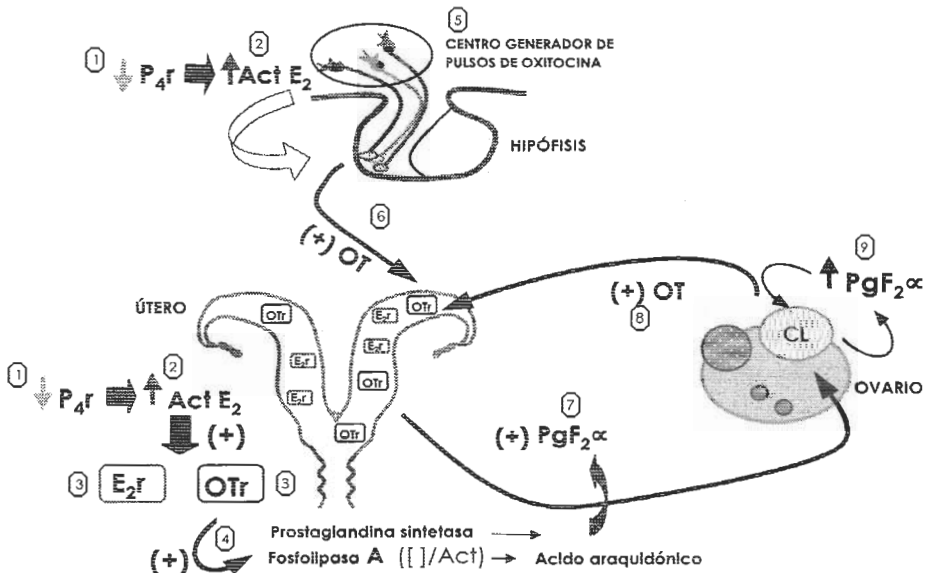


Figura 5.3. Mecanismo endocrino del control de la luteólisis en rumiantes. P_4r = receptor de progesterona; $Act E_2$ = actividad de estradiol; E_2r = receptor de estradiol; OTr = receptor de oxitocina; OT = oxitocina; $PGF_2\alpha$ = prostaglandina F_2 alfa; CL = cuerpo lúteo

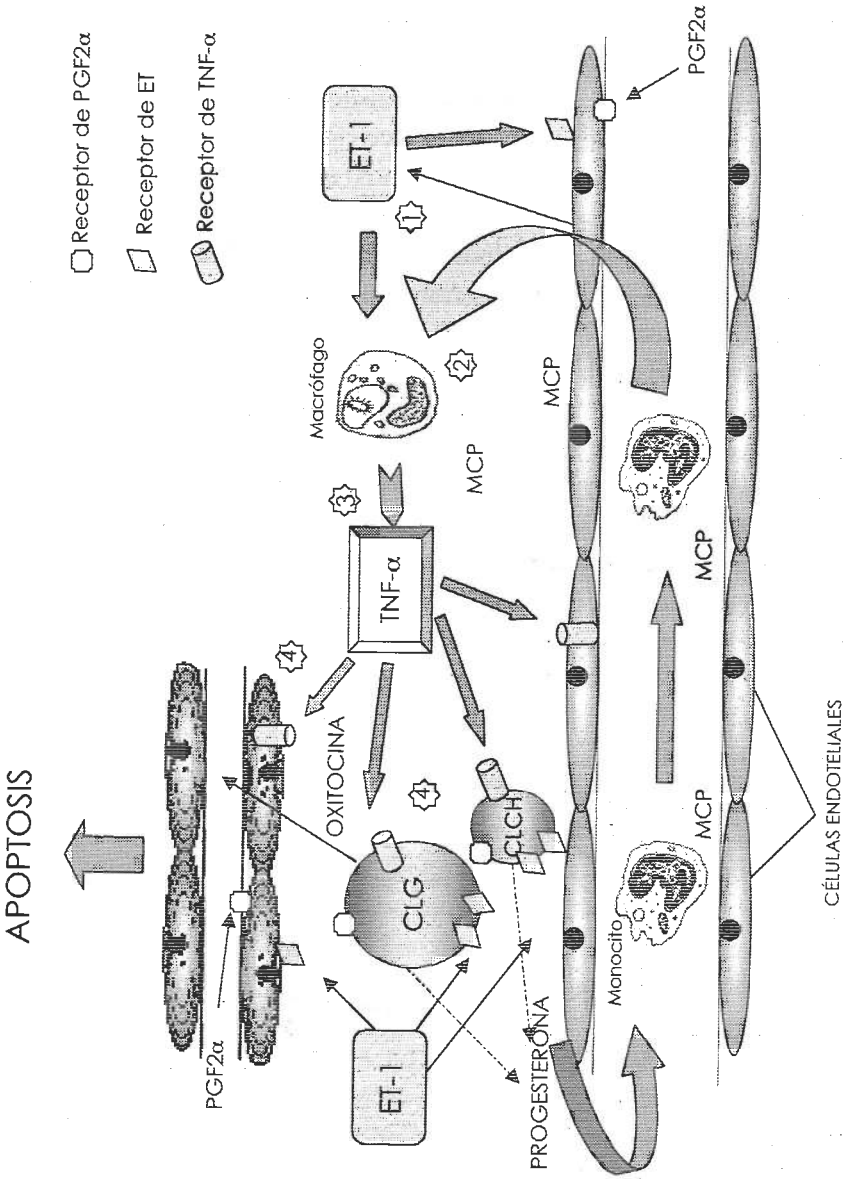


Figura 5.4. Modelo de la regresión estructural del cuerpo lúteo en rumiantes. ET-1 = endotelina 1; PGF₂α = prostaglandina F₂ alfa; MCP = proteína quimioatrayente de monocitos; TNF-α = factor de necrosis tumoral alfa; CLCH = célula lútea chica; CLG = célula lútea grande. Los números (1 a 4) indican el orden de los eventos implicados en la regresión del cuerpo lúteo. (Adaptado de Meidan R, Milvae RA, Weiss S, Levy N y Friedman A. "Intraovarian regulation of luteolysis". *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*, 1999, 54:217-228.)

recuperación del tamaño normal del ovario. La caída en las concentraciones de progesterona se presenta antes de que ocurra daño estructural. La $\text{PGF2}\alpha$ inhibe la síntesis de progesterona mediante la reducción en la síntesis y fosforilación de la proteína encargada del transporte de colesterol hacia el interior de la mitocondria (StAR). Adicionalmente, la $\text{PGF2}\alpha$ induce la producción de endotelina-1 (ET1) por las células endoteliales que se encuentran en el cuerpo lúteo que, junto con la $\text{PGF2}\alpha$, contribuye a la reducción en la síntesis de progesterona.

En el proceso de la luteólisis estructural intervienen tanto el endometrio como las células propias del cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo está formado por células lúteas grandes y pequeñas, por fibroblastos, células musculares, células endoteliales y células inmunes. De entre éstas destaca la participación de las células endoteliales y de las células inmunes. Además de la secreción de ET1 (figura 5.4, 1), las células endoteliales producen proteína quimiotáctica de monocitos 1 (MCP-1). Esta proteína recluta macrófagos que transmigran a través del epitelio vascular (figura 5.4, 2) que ha sido sensibilizado por la $\text{PGF2}\alpha$. Los macrófagos activados secretan el factor de necrosis tumoral alfa ($\text{TNF}\alpha$) (figura 5.4, 3), que actúa en las células del cuerpo lúteo causando apoptosis (figura 5.4, 4).

5.6. ESTACIONALIDAD

Las especies estacionales han desarrollado ritmos endógenos que les permiten tener épocas reproductivas y de anestro a lo largo del año. Se considera que el factor medioambiental más repetible entre los años y más fácilmente distinguible es la cantidad de horas luz por día. Debido a ello, los animales utilizan al fotoperiodo como un sincronizador de su ritmo biológico endógeno. Debe considerarse que este ritmo se seguirá manifestando aun cuando se les prive de la capacidad para detectar las señales ambientales.

Los cambios en el fotoperiodo son más acentuados en los sitios más alejados del ecuador, donde las especies domésticas pueden mostrar periodos de anestro estacional.

La finalidad de la estacionalidad reproductiva es garantizar que los nacimientos ocurran en la época del año más favorable para las crías, cuando la temperatura ambiental y la disponibilidad de alimentos son buenas, lo que generalmente ocurre durante las estaciones de primavera y verano. Es por ello que el momento de la actividad sexual parece estar determinado por la duración de la gestación. De acuerdo con esto, la yegua, que tiene un periodo de gestación promedio de 330 días, cicla durante la primavera y el verano,

presentando el pico de su actividad reproductiva alrededor del solsticio de verano. En los meses de poca luz (otoño e invierno), los ciclos estrales desaparecen y la yegua entra en anestro. En contraste, la oveja y la cabra, cuyas gestaciones tienen una duración de 147 y 150 días en promedio respectivamente, presentan su estación reproductiva durante los meses con menos horas luz. Así, sus ciclos estrales ocurren durante el otoño e invierno, cuando los días son más cortos.

En los machos de estas especies la actividad reproductiva desciende durante el periodo de anestro, lo cual se asocia con disminución de la espermatogénesis y del diámetro testicular, así como con reducción en las concentraciones de gonadotropinas y testosterona.

El estímulo luminoso es captado por la retina del ojo y la información es transportada por el nervio óptico al núcleo supraquiasmático y de ahí al ganglio cervical superior, el cual tiene terminaciones neuronales adrenérgicas que llegan a la glándula pineal, donde liberan norepinefrina durante la oscuridad. Este fenómeno promueve la síntesis de N-acetiltransferasa, enzima limitante en la transformación de serotonina a N-acetilserotonina, que será posteriormente transformada a melatonina por acción de la enzima hidroxindol-O-metiltransferasa. La melatonina se libera durante las horas de oscuridad, con un patrón inversamente proporcional a la cantidad de horas luz (figura 5.5).

La melatonina tiene muy diversas acciones en los organismos y desde el punto de vista reproductivo, se considera que es el mensaje endocrino que utilizan los animales para determinar la duración del día. La acción final de la melatonina es el control de la liberación de GnRH, cambiando la sensibilidad hipotalámica a los estrógenos. Sin embargo, su efecto no es directo en las células liberadoras de GnRH, debido a que sus receptores no se encuentran en dichas células y a que el tiempo requerido para que la melatonina exógena cause un incremento en la secreción de LH vía GnRH, es de 40 a 60 días en ovejas.

Se ha establecido que el efecto de la melatonina sobre la secreción de GnRH está mediado principalmente por dopamina. La dopamina actúa aumentando la sensibilidad al efecto inhibitorio del estradiol. Por lo tanto, concentraciones elevadas de dopamina están asociadas al anestro en equinos y pequeños rumiantes. En ovejas y cabras la melatonina reduce la producción de dopamina inhibiendo a la enzima tirosina hidroxilasa (enzima limitante en la conversión de tirosina a L-DOPA). Ovejas y yeguas a las que se les inyectó un antagonista de dopamina durante el anestro, mostraron un incremento temporal en la secreción de LH (figura 5.5).

Aunado a lo anterior y debido a que en el control de la liberación de GnRH intervienen un gran número de neurotransmisores sobre los cuales la

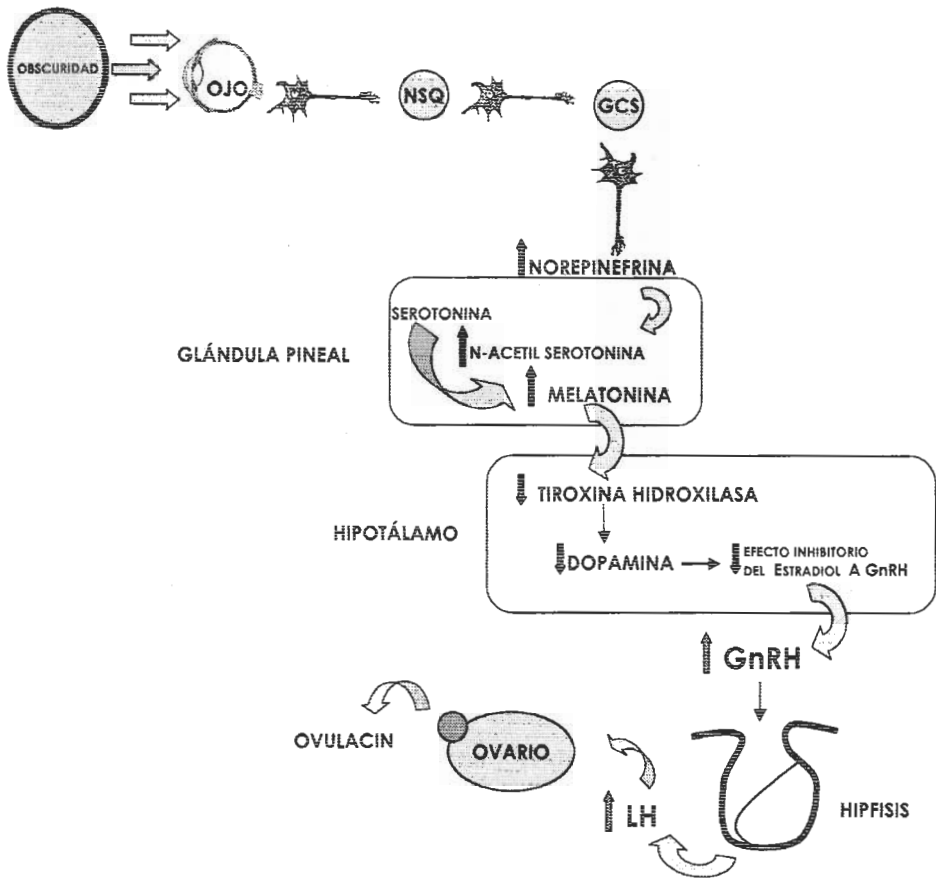


Figura 5.5. Modelo del efecto de la obscuridad en la liberación de melatonina y la acción de ésta sobre el generador de pulsos en GnRH en borregos. NSQ = núcleo supraquiasmático; GCS = ganglio cervical superior; GnRH = hormona liberadora de gonadotropinas; LH = hormona luteinizante

melatonina podría estar actuando, se ha propuesto un complejo circuito neural donde interactúan el sistema dopaminérgico, el serotoninérgico y el de aminoácidos neuroexcitatorios (glutamato, aspartato y glicina). Se ha observado que durante el anestro estacional la serotonina disminuye la secreción pulsátil de LH. Esto está mediado por la concentración de receptores a serotonina en el hipotálamo, los cuales se incrementan durante el anestro por un efecto de la melatonina. Se ha sugerido que el papel de la serotonina en la liberación de LH es independiente de los estrógenos, ya que el uso de

un antagonista causa incrementos en LH aun en animales ovariectomizados. La melatonina también modifica los aminoácidos neuroexcitatorios, ya que al aplicar un agonista durante la época de anestro se ocasiona un incremento en las concentraciones de GnRH y LH en ovinos. El sitio preciso de acción de estos aminoácidos no ha sido establecido.

Adicionalmente, se ha propuesto que el fotoperiodo modifica la interacción celular de las neuronas productoras de GnRH. Se ha observado que estas neuronas poseen un mayor número de dendritas y son más grandes durante el anestro. No obstante, durante la época reproductiva estas células reciben más sinapsis que durante el anestro. Estos cambios parecen estar estimulados por las concentraciones de hormonas tiroideas, que se consideran esenciales para la maduración morfológica del sistema nervioso central. Aunado a lo anterior, se conoce que la transición reproductiva al anestro depende de hormonas tiroideas, ya que animales tiroidectomizados continúan ciclando aun después del final de su época reproductiva.

5.7. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PATRONES REPRODUCTIVOS

5.7.1. Fotoperiodo

Uno de los factores que más afectan el inicio de la actividad reproductiva, principalmente en especies estacionales, es el cambio de la cantidad de horas luz a lo largo del año. En especies poliéstricas continuas, pueden observarse también variaciones anuales en la ciclicidad. Esto se refleja en la marcada estacionalidad que se observa en los nacimientos de búfalos y ganado cebú. Igualmente, la época en la que una becerro o una cerda nacen, afecta la edad en la que alcanzan la pubertad probablemente debido al fotoperiodo al que estarán expuestas durante su desarrollo. Más aún, cuando se suplementan 4 h de luz, la pubertad en novillonas se adelanta.

5.7.2. Temperatura

El efecto de la temperatura en la presentación de los ciclos estrales no es tan marcado como el de la luz. Al parecer su acción es más importante en el periodo posterior a la fecundación, cuando una temperatura elevada puede disminuir la viabilidad de los embriones y, por lo tanto, la fertilidad. Sin embargo, temperaturas inusualmente frías o calientes impiden la demostración de signos de estro.

Adicionalmente, temperaturas bajas durante el verano se han asociado al inicio temprano de la época reproductiva en ovejas. Contrariamente, se ha sugerido que en los equinos la transición a la época reproductiva es más

lenta si el clima es muy frío. En el caso de los porcinos, se ha visto que durante el verano la duración del estro es mayor que en el invierno.

5.7.3. Amamantamiento

En especies como los porcinos y los bovinos productores de carne, el anestro posparto tiende a incrementarse debido al estímulo que ejercen las crías sobre la madre al momento del amamantamiento. Se ha determinado que el estímulo no es necesariamente táctil, ya que en estudios donde se denegó la glándula mamaria de hembras bovinas, el amamantamiento seguía bloqueando el reinicio de la ciclicidad. Por lo anterior, se considera que la acción del amamantamiento es mediante un reconocimiento filial, donde intervienen factores visuales, olfatorios y auditivos.

Diferentes métodos de destete han sido implementados con la finalidad de adelantar el reinicio de la actividad ovárica. Así, en los bovinos se ha visto que cuando ocurren únicamente dos periodos de amamantamiento al día, no existe el estímulo suficiente para que se bloquee la actividad reproductiva. En el caso de los porcinos, el estro y la ovulación se presentan 4 a 8 días después del destete.

Se piensa que el amamantamiento afecta la actividad reproductiva aumentando la sensibilidad del hipotálamo hacia el efecto inhibitorio del estradiol. En ello intervienen factores como los opioides (endorfinas, encefalinas y dinorfinas) y glucocorticoides.

5.7.4. Nutrición

La reproducción, comparada con otras funciones fisiológicas como la termorregulación, la locomoción, el crecimiento, el mantenimiento celular o la lactancia, ocupa escasa prioridad para el organismo. Por lo tanto, cuando el consumo de energía es restringido, la función reproductiva se interrumpe antes de comprometer a otras funciones vitales.

En animales jóvenes el inicio de la pubertad parece estar influenciado por señales metabólicas de origen periférico (IGF-I, leptina), que le indican al sistema nervioso central el grado de desarrollo somático que ha sido alcanzado. Los animales sometidos a deficiencias nutricionales durante su crecimiento sufren un retraso en la pubertad. En animales ciclando, la pérdida de 20% del peso corporal conduce a un anestro nutricional. Adicionalmente, el tiempo entre el parto y la primera ovulación posparto se prolonga cuando la nutrición es pobre. De hecho, la primera ovulación posparto en el ganado bovino se presenta siempre después de que el animal ha rebasado el Nadir del balance energético. Así mismo, las hembras que presentan un mayor

porcentaje corporal de contenido graso tienen un intervalo a la primera ovulación más corto. Finalmente, los animales que reciben dietas con proteínas de alta calidad pueden ovular entre 3 y 6 semanas antes que aquellos con dietas de baja calidad proteica.

Efecto de la nutrición sobre las gonadotropinas: las deficiencias nutricionales de energía y proteína no afectan los niveles circulantes de FSH en animales intactos. Sin embargo, el efecto de la desnutrición puede estar enmascarado por la retroalimentación negativa de las hormonas ováricas sobre la secreción de FSH, ya que los animales ovariectomizados con una buena condición corporal tienen mayores concentraciones de FSH que los de condición corporal pobre. En contraste, la secreción de LH es altamente sensible a deficiencias nutricionales y a cambios en la condición corporal. El diámetro del folículo dominante se reduce cuando los animales están perdiendo peso, lo que se correlaciona con disminución en la producción de estradiol. Esto disminuye la secreción de LH y en consecuencia previene la maduración folicular terminal y la ovulación, con lo que los animales caen en anestro. En el posparto, las concentraciones basal y media y la frecuencia de secreción de LH se incrementan cuando se supera el Nadir del balance energético.

Por lo general, la pituitaria es capaz de liberar LH y FSH ante un estímulo de GnRH. Sin embargo, en animales con muy baja condición corporal, la cantidad de LH liberada se reduce si continúan perdiendo peso. Más aun, el contenido de RNA mensajero que codifica para las subunidades α y β de la LH aumentan con una dieta adecuada.

En conclusión, las concentraciones circulantes de FSH en animales intactos no son afectadas por el estado nutricional. Sin embargo, las concentraciones y la frecuencia de pulsos de LH se ven disminuidas cuando los animales están sujetos a deficiencias nutricionales de energía y proteína.

Efectos independientes de gonadotropinas: es bien sabido que además de las gonadotropinas, otros factores pueden intervenir en la regulación del desarrollo folicular. El aumento en el número de folículos observado en respuesta al *flushing* no se asocia con cambios en las concentraciones de gonadotropinas, sugiriéndose un control independiente al del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal. Entre los factores implicados en el control del metabolismo energético del animal se encuentran la insulina y el factor de crecimiento parecido a la insulina tipo I (IGF-I). Estas hormonas están íntimamente relacionadas y se ven afectadas por cambios nutricionales. En el posparto temprano y cuando el animal está en balance energético negativo, las concentraciones de insulina e IGF-I descienden, mientras que las de GH au-

mentan. La IGF-I es secretada principalmente por el hígado en respuesta a la estimulación con GH y se piensa que regula gran parte de las acciones de ésta. Así mismo, la IGF-I modula la secreción de GH por retroalimentación negativa, de modo que entre ellas existe una relación inversa. En condiciones naturales, el incremento del consumo energético resulta en un aumento en el reclutamiento de folículos pequeños asociado con la elevación de las concentraciones de insulina e IGF-I. Adicionalmente, tanto la insulina como la IGF-I estimulan la proliferación y esteroidogénesis de las células de la granulosa y la teca en el folículo. Cuando se administra GH, las concentraciones de insulina e IGF-I se incrementan y se observa un aumento en el número de folículos ováricos en cerdos, bovinos, caprinos y ovinos. En contraste, el bloqueo de la hormona de crecimiento por medios inmunológicos resulta en el estancamiento del desarrollo folicular.

Otro de los factores que afectan la manifestación de la actividad reproductiva es la cantidad de grasa corporal. A esto se le conoce como la teoría del lipostato y expresa que para que se inicie y mantenga la actividad reproductiva se requiere de una cantidad crítica de grasa corporal. Recientemente esta teoría ha cobrado fuerza con el descubrimiento de la leptina. Esta hormona es producida por los adipositos y su concentración está directamente relacionada con los niveles de grasa corporal. La leptina actúa como un mediador entre el nivel nutricional y el centro cerebral del apetito, por lo cual se considera que su función es controlar la ingestión. Se ha visto que ratones deficientes en leptina son obesos, estériles e hipogonadotróficos; sin embargo, cuando se les administra leptina exógena disminuyen su consumo de alimento e incrementan las concentraciones de gonadotropinas restableciendo la fertilidad. Adicionalmente, si se administra leptina a ratones prepúberes, éstos alcanzan la pubertad antes y con un peso menor que los ratones testigo.

5.7.5. Factores sociales

Existen diferentes interacciones sociales que son capaces de modificar el inicio de la actividad reproductiva durante el periodo de transición o sincronizar la manifestación de los ciclos estrales.

Efecto hembra-hembra: éste ha sido bien documentado en pequeños rumiantes, donde la introducción de hembras ciclando a un grupo de hembras en anestro estacional adelanta la estación reproductiva induciendo y sincronizando la ovulación. Se sabe también que cuando las cerdas prepúberes se alojan en grupos pequeños de dos o tres animales, el inicio de la pubertad se retrasa.

Efecto macho: para lograr la bioestimulación del macho, se acostumbra alojarlo ya sea en el corral adyacente al de las hembras o introducirlo directamente con éstas. Las hembras manifiestan estro en los siguientes 3 a 7 días. Para que el efecto macho sea eficiente, se sugiere un aislamiento previo entre ambos sexos por un periodo mínimo de 15 días. Se ha determinado que inmediatamente después de la introducción del macho se inicia el desarrollo y la maduración folicular como una respuesta a un incremento en la secreción LH.

5.7.6. Estrés

En diversos estudios se ha demostrado que el estrés puede bloquear la ciclicidad, debido a un incremento en las concentraciones de corticosteroides u opioides que causan una reducción en la respuesta de la pituitaria a la GnRH. Se consideran como condiciones estresantes el inadecuado alojamiento, un ambiente social adverso y las deficiencias del manejo.

5.8. LITERATURA RECOMENDADA

- Arthur, G.H., Noakes, D.E., y Pearson, H. 1983. *Veterinary reproduction and obstetrics*. 6a ed., Baillière Tindall, England, 641 p.
- Besognet, B., Hansen, B.S., y Daels, P.F. 1996. *Dopaminergic regulation of gonadotropin secretion in seasonally anoestrous mares*. J Reprod Fertil 108:55.
- Besognet, B., Hansen, B.S., y Daels, P.F. 1997. *Induction of reproductive function in anestrus mares using a dopamine antagonist*. Theriogenology 42:467.
- Brooks, A.N., Haynes, N.B., Yang, K., y Lamming, G.E. 1986. *Ovarian steroid involvement in endogenous opioid modulation of LH secretion in seasonally anestrus mature ewes*. J Reprod Fertil 76:709.
- Brown, P., y McNeilly, A.S. 1999. *Transcriptional regulation of pituitary gonadotrophin subunit genes*. Rev Reprod. 4:117.
- Carruthers, T.D., Convey, E.M., Kesner, J.S., Hafs, H.D., y Cheng, K.W. 1980. *The hypothalamo-pituitary gonadotrophic axis of suckled and nonsuckled dairy cows postpartum*. J Anim Sci 51:949.
- Chehab, F.F., Lim, M.E., y Lu, R. 1996. *Correction of the sterility defect in homozygous obese female mice by treatment with the human recombinant leptin*. Nat Genet 12:318.
- Chehab, F.F., Mounzih, K., Lu, R., y Lim, M.E. 1997. *Early onset of reproductive function in normal female mice treated with leptin*. Science 275:88.

6. MANEJO HORMONAL DEL CICLO ESTRAL*

CARLOS G. GUTIÉRREZ AGUILAR

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. SINCRONIZACIÓN DEL CICLO ESTRAL
- 6.3. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR
- 6.4. INDUCCIÓN DE LA CICLICIDAD
- 6.5. LITERATURA RECOMENDADA

6.1. INTRODUCCIÓN

Para lograr la inducción y sincronización del ciclo estral por medio de productos hormonales, es necesario conocer la fisiología reproductiva de la especie de interés, la acción de las hormonas involucradas y la interacción que entre ellas existe. En este capítulo se revisan, en forma general, los métodos hormonales de sincronización e inducción de estros. Se invita al lector a buscar las particularidades de cada especie consultando los capítulos correspondientes.

La manipulación del estro en los animales domésticos ha avanzado buscando métodos que intentan optimizar los costos, tiempo y porcentajes de fertilidad. La sincronización del estro ofrece las siguientes ventajas: 1) El tiempo requerido para la detección de estros se reduce disminuyendo los costos asociados a ello. 2) Los animales presentan celo dentro de un tiempo predecible, lo que facilita la inseminación artificial y la transferencia de embriones. 3) Las hembras ciclando conciben más temprano en el posparto o época de empadre. 4) Facilita el uso de la inseminación artificial en ganado bovino productor de carne y leche. 5) Se puede agrupar los nacimientos de las crías para que nazcan en una época de mayor abundancia de alimento.

Los métodos de sincronización de estros han evolucionado basados en los conocimientos presentes de la endocrinología del ciclo estral y, recíprocamente, estos protocolos han servido como herramientas para ampliar el saber sobre las hormonas reproductivas. Los esquemas que se han de-

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Actividad reproductiva de la hembra II", elaborado por Alberto Saltiel.

sarrollado para sincronizar el estro no sólo buscan una presentación concentrada del estro, sino aumentar la fertilidad por medio de la sincronización del desarrollo folicular.

6.2. SINCRONIZACIÓN DEL CICLO ESTRAL

La sincronización del ciclo estral se logra con el acortamiento o la extensión de la fase lútea del ciclo. El primero se puede alcanzar con agentes luteolíticos, los cuales acortan la vida del cuerpo lúteo, y la extensión con progestágenos, cuya misión es alargar la vida del mismo.

6.2.1. Prostaglandinas

El método más utilizado para la sincronización del estro en animales que se encuentran ciclando, es la aplicación de prostaglandinas. Sus distintas presentaciones comerciales (tanto en forma natural como sus análogos), son igualmente eficaces para provocar la luteólisis. Desde el punto de vista endocrino, no existen diferencias entre la luteólisis que ocurre de forma natural y la que es inducida por prostaglandina exógena. Tampoco existe distinción en la intensidad de la presentación de los signos de estro ni en su duración; y la fertilidad a estro sincronizado es igual a la del estro natural. Sin embargo, cuando se utilizan las prostaglandinas para sincronizar el estro, se observa una gran dispersión de la presentación del mismo, debido a diferencias en la etapa de desarrollo folicular en la que se encuentran los animales tratados. En efecto, en el bovino el tiempo promedio de presentación del celo tras la sincronización con prostaglandinas varía entre 48 y 72 h. Si existe un folículo dominante maduro cuando ocurre la luteólisis, el estro se presenta de 48 a 60 h después. No obstante, si el folículo está en crecimiento o en etapa de atresia temprana, el estro se manifestará hasta que el folículo finalice su desarrollo, o incluso hasta que se dé el reclutamiento de una nueva oleada, lo que pudiera representar un retraso en su presentación de hasta 4 días o más.

Las diferencias temporales descritas en relación con el intervalo entre el tratamiento y la presentación del estro son, por lo tanto, una de las principales razones de fracaso de la inseminación artificial a tiempo fijo después de la sincronización con prostaglandinas.

Cabe señalar que es necesario que el cuerpo lúteo haya alcanzado determinado grado de madurez para que pueda ser responsivo a la acción de la prostaglandina, razón por la cual entre 10 y 15% de las vacas con cuerpo lúteo no presentan luteólisis después de que ésta ha sido aplicada de manera exógena. De hecho, recientemente se determinó que para que la luteólisis ocurra, es necesario que el cuerpo lúteo haya desarrollado la capacidad de expresar

prostaglandina sintética. En otras palabras, el cuerpo lúteo requiere producir PGF2 α en forma autocrina para lograr su lisis. La repercusión práctica de lo anterior en un hato con el 100% de los animales ciclando, regularmente se traduce en que sólo entre 60 y 65% tendrá un cuerpo lúteo responsivo al aplicar un tratamiento con prostaglandinas. El 35 a 40% restante estará en fase de proestro, estro o metaestro, en las que no existe un cuerpo lúteo o éste se encuentra aún en un estado inmaduro. Por esta razón se desarrolló un método en el que se utilizan dos inyecciones separadas de PGF2 α , cuyo objetivo es que todos los animales presenten un cuerpo lúteo sensible al momento de la segunda aplicación de la prostaglandina. Debe considerarse un intervalo suficiente para que aquellos animales no responsivos a la primera aplicación hayan desarrollado un cuerpo lúteo maduro susceptible en la segunda. Lo anterior puede conseguirse siguiendo diferentes estrategias.

Las dos inyecciones de prostaglandina se pueden administrar a cada uno de los animales, o buscar alternativas para reducir el número de dosis empleadas: en el bovino se puede hacer uso de la palpación rectal para identificar a aquellas vacas que presentan un cuerpo lúteo, lo que permite la aplicación selectiva de la PGF2 α , con la ventaja colateral de que pueden identificarse también las gestaciones. Existe la posibilidad de errores en la palpación; sin embargo, la mayoría de las vacas en las que un cuerpo lúteo es detectado, se encontrará en la fase apropiada para que éste sea susceptible a la acción de las prostaglandinas.

Otra opción es administrar el tratamiento a todos los animales, detectar celo durante 4 o 5 días y dar servicio a todas aquellas hembras que entren en celo. Once días más tarde se administra prostaglandina a las vacas a las que no se les dio servicio después de la primera inyección. Con este método se utiliza un promedio de 1.6 dosis por cabeza. Una tercera opción es realizar una detección de calores durante 7 días. A las vacas que presenten estro se les puede dar servicio, y al octavo día se aplica la prostaglandina al resto. Con este procedimiento se logra servir al 100% de las vacas con 60% de las dosis. Alternativamente, si no se les dio servicio a los animales que presentaron celo durante el periodo de detección, se les puede aplicar la prostaglandina 7 días después del último día de observación.

Cualquiera que sea el método seleccionado para sincronizar el celo, la inseminación artificial (IA) a tiempo fijo se puede llevar a cabo 80 h después de la aplicación del tratamiento, o realizar una doble inseminación a las 72 y 96 h.

Sin embargo, es importante señalar que si se utiliza la IA a tiempo fijo se espera una reducción importante en la fertilidad en comparación con la inseminación realizada después del celo observado.

El uso de la PGF2 α sigue los mismos lineamientos en las distintas especies, ajustando el intervalo entre aplicaciones de acuerdo con la longitud de la vida del cuerpo lúteo. En los pequeños rumiantes, la doble inyección de prostaglandinas se aplica con 9 a 11 días de diferencia, o puede también detectarse celo durante 4 días y aplicar las prostaglandinas a las hembras que no presentan celo, como se explicó anteriormente para el bovino. En el equino, el intervalo entre una inyección y otra debe ser de entre 14 y 18 días. El uso de prostaglandinas en el cerdo se ha visto limitado por el hecho de que el cuerpo lúteo es refractario a su acción hasta el día 15 del ciclo estral. Sin embargo, funciona cuando se induce una pseudogestación, para asegurarse de que todas las cerdas tengan un cuerpo lúteo sensible al momento de su administración.

Esto se logra con la aplicación de 500 a 1000 UI de hormona liberadora de gonadotropinas (LH-RH) en el día 14 del ciclo estral, o bien 5 mg de benzoato de estradiol entre los días 11 y 15. Finalmente, la PGF2 α se inyecta de 11 a 15 días después, para lograr la sincronización.

En el ganado lechero, la prostaglandina se utiliza normalmente de forma individual en aquellas vacas que son remitidas para revisión por anestro y que a la palpación muestran un CL, o bien para el tratamiento de piómetras. En ganado lechero se ha promovido el uso de la PGF2 α administrada a todos los animales a partir del día 20 a 25 posparto y cada 14 días sucesivamente hasta el momento del servicio.

Existen dos argumentos en los que se basa esta recomendación: el primero es que al provocar un mayor número de estros, se ayuda a la limpieza del útero en caso de metritis. Sin embargo, los resultados obtenidos con este tratamiento no han sido consistentes, y aunque existen informes que señalan mejorías en la fertilidad, un número similar de trabajos no apoya dicho efecto. El segundo es que permite programar a las vacas para que se encuentren entre el día 5 a 10 del ciclo estral al momento de comenzar el tratamiento con Ov-synch (más adelante se retoma el tema), y mejora la respuesta a la inseminación a tiempo fijo. A este procedimiento se la ha conocido como presincronización.

6.2.2. Progestágenos

Los progestágenos son hormonas esteroides que pueden obtenerse por vía natural (progesterona) o sintética. Su estructura química característica los hace compuestos capaces de ser administrados en forma inyectada (progesterona), incluidos en implantes de silicón (progesterona, norgestomet), en esponjas de liberación intravaginal (acetato de fluorogestona, acetato de medroxiprogesterona) o por vía oral (Allyl-trembolona, acetato de melengestrol).

El uso de los progestágenos para la sincronización del ciclo estral se basa en su capacidad para inhibir el pico preovulatorio de LH, bloqueando la ovulación hasta que se retira el tratamiento. El periodo de administración debe tener la longitud suficiente para permitir que ocurra la lisis del cuerpo lúteo en forma natural, independientemente de la etapa del ciclo estral en la que la sincronización se lleve a cabo.

Hacia el final del tratamiento, el 100% de los animales carecerá de cuerpo lúteo, pero la ovulación seguirá siendo bloqueada mientras el progestágeno sea administrado y, al retirarlo, se permitirá que el estro ocurra de manera sincrónica. Cuando al iniciar el tratamiento el animal se encuentra en fase folicular (proestro, estro), el progestágeno bloquea la ovulación, por lo que no se forma un cuerpo lúteo. Si se encuentra en etapa de metaestro, la formación del cuerpo lúteo se altera, acortando su vida media. Finalmente, si la etapa del ciclo al inicio del tratamiento coincide con el diestro, el cuerpo lúteo sufre luteólisis al momento en el que le correspondería naturalmente, sin resultar afectado por el tratamiento.

La sincronización de estros con progestágenos es altamente eficaz para inducir signos de estro. Sin embargo, se ha observado que cuando el tratamiento es prolongado, la fertilidad obtenida después de su uso es generalmente baja. Por lo tanto, se ha buscado acortar el periodo en el que se administran, utilizando elementos (estradiol o la PGF2 α) que al añadirse al esquema de tratamiento, posibilitan una reducción en la vida media del cuerpo lúteo. El estradiol no tiene propiedades luteolíticas *per se*, pero cuando es usado en el metaestro, interfiere con la formación apropiada del cuerpo lúteo, y en el diestro, actúa indirectamente acortando su vida a través de los mecanismos anteriormente citados.

Por otro lado, cuando la luteólisis ocurre tempranamente durante el tratamiento, las concentraciones totales de progesterona disminuyen.

Si bien el progestágeno exógeno por sí mismo evita que se presente el pico preovulatorio de LH, no puede impedir que se dé un aumento en la frecuencia de pulsos de esta hormona, lo que permite que el folículo dominante se mantenga por un tiempo superior al normal, convirtiéndose en un folículo persistente. En un ciclo natural, los folículos dominantes cambian su dependencia hormonal de FSH a LH, y la progesterona provoca una disminución en la frecuencia de pulsos de LH. Así pues, al reducirse la pulsatilidad de LH por la progesterona en el diestro, se ocasiona que el folículo dominante sufra atresia, perdiendo su dominancia y permitiendo el surgimiento de una nueva oleada folicular. De esta manera, el organismo se asegura de que el folículo que ovula haya sido reclutado recientemente. Cuando el ciclo estral se sincroniza en la ausencia del cuerpo lúteo, la presencia

de un progestágeno puede alargar la vida de un folículo resultando en una fertilidad pobre.

6.3. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR

Como se mencionó anteriormente, el intervalo temporal entre el tratamiento sincronizador y la presentación de estros en un grupo de animales tratados, depende del estado de desarrollo folicular al momento de la luteólisis. Adicionalmente, se explicó que la fertilidad puede depender de la duración del periodo de dominancia del folículo que se ovule. Por consecuencia, resulta deseable que exista un folículo dominante, de reciente selección al final del tratamiento para lograr el mayor grado de sincronización del celo y aumentar la fertilidad. Esto se puede lograr bloqueando el soporte gonadotrófico (FSH y/o LH) hacia el folículo dominante presente causando su atresia con el consecuente reclutamiento de una nueva oleada folicular.

La progesterona y el estradiol se han utilizado para bloquear la secreción de LH y FSH, respectivamente, con relativo éxito. Sin embargo, nuevamente, la efectividad de ambos tratamientos depende del estado de desarrollo folicular. Los esteroides que se administran antes o inmediatamente después del inicio de la oleada folicular, corresponden con un retardo en la selección y con un folículo de menor tamaño.

Cuando éstos se aplican en animales que tienen un folículo dominante establecido, causan la atresia del mismo y, dependiendo de la dosis, pueden llegar a retrasar el reclutamiento de la nueva oleada. En conclusión, el uso de estos compuestos en la sincronización no ha logrado mejorar la fertilidad.

Otra alternativa es la aplicación de LH-RH (gonadorelina 250 µg), que induce un pico de LH y FSH independientemente del día del ciclo, concentración de progesterona o estado de desarrollo folicular. Sin embargo, la respuesta de los folículos al LH-RH es dependiente de la presencia o ausencia de un folículo dominante. Cuando existe un folículo dominante en los ovarios, el LH-RH provoca su ovulación y el reclutamiento de una nueva oleada. Si por el contrario el folículo dominante aún no ha sido seleccionado, el LH-RH no tiene efecto aparente sobre el desarrollo del mismo. De este modo, independientemente de la etapa en la que se aplique el tratamiento, cuando éste finalice, se obtendrá un folículo de reciente selección.

El LH-RH puede ser utilizado en conjunto con prostaglandinas y/o progestágenos. De hecho, debido a que provoca la luteinización del folículo dominante, este tratamiento debe combinarse necesariamente con la PGF_{2α} para que pueda ser destruido.

El Ov-synch es un método que ha sido ampliamente utilizado y cuya finalidad es la sincronización de la ovulación para hacer posible la

inseminación a tiempo fijo. En este esquema, el LH-RH se aplica indistintamente del día del ciclo estral, siete días después se inyecta PGF2 α y finalmente se aplica nuevamente LH-RH dos días después de la PGF2 α para inducir la ovulación e inseminar a tiempo fijo (16 h después) sin la necesidad de la detección de estros. Las pruebas de campo que se han realizado usando Ov-Synch en vacas lecheras lactando, han demostrado que la fertilidad es similar a la de las vacas testigo.

Adicionalmente, del protocolo de Ov-synch se han derivado dos variantes utilizadas principalmente en bovinos productores de carne: 1) El Co-synch, donde las vacas son inseminadas simultáneamente con la segunda aplicación de LH-RH, y 2) el Select-synch, donde se omite la segunda inyección de LH-RH y las vacas son inseminadas 12 h después de ser detectadas en estro.

La desventaja del Ov-synch y sus variantes radica en que entre 5 y 15% de los animales muestran estro antes de la aplicación de la PGF2 α , por lo que es recomendable detectar calores desde el segundo día antes de aplicar la PGF2 α . La mejor respuesta a Ov-Synch se obtiene en animales que tienen un folículo capaz de ovular después del estímulo de LH-RH, lo cual se presenta entre los días 5 y 10 del ciclo estral. Esta situación se puede provocar haciendo un tratamiento de "presincronización" que consiste en aplicar PGF2 α en dos ocasiones con 14 días de diferencia e iniciar el programa de Ov-Synch 12 días después de la segunda aplicación de PGF2 α .

Otra desventaja de estos sistemas es el costo de las hormonas, amén del manejo de los animales; sin embargo, los investigadores que han trabajado con estos sistemas consideran que su principal fortaleza es el ahorro en el número de días abiertos y, por ende, en el bolsillo del productor.

6.4. INDUCCIÓN DE LA CICLICIDAD

La inducción de la actividad reproductiva en animales anéstricos tiene como objetivo adelantar la época de cubriciones para disminuir el intervalo entre partos. Como se explicó en el capítulo anterior, el anestro se debe a un aumento de la sensibilidad del hipotálamo al efecto inhibitorio del estradiol. El aumento de la sensibilidad al estradiol es consecuencia de efectos estacionales, amamantamiento, posparto y nutricionales, entre otros. La resultante de la inhibición del estradiol sobre el hipotálamo es una reducción en la secreción de LH-RH y LH.

Antes de intentar un programa de inducción de la ciclicidad deben hacerse todos los manejos posibles para aminorar los efectos medioambientales negativos. El manejo del amamantamiento (destete temprano o destete temporal) es en muchas ocasiones suficiente para reiniciar la ciclicidad. Inclusive la combinación de un tratamiento hormonal inductor de celo

coincidiendo el retiro del mismo con el destete temporal, por ejemplo, puede lograr el efecto deseado. Debe igualmente cuidarse la condición corporal y la nutrición, ya que ésta es tal vez la principal causa de anestro en animales productivos.

Finalmente, cuando se quiere inducir la ciclicidad en animales en anestro estacional, debe tenerse en cuenta la especie y la raza con la que se trabaje y el inicio de la época reproductiva para la raza en cuestión, ya que los tratamientos son menos eficientes cuanto más alejados están de la época reproductiva. De no solventarse los problemas mencionados, los tratamientos para inducir la ciclicidad pueden fracasar o bien el animal puede caer nuevamente en anestro después de ciclar temporalmente.

Los tratamientos disponibles para inducir la ciclicidad en animales anéstricos, se basan en aumentar la concentración circulante de progesterona. Para ello puede utilizarse cualquier producto progestágeno adecuado para la especie o inducirse un cuerpo lúteo con el protocolo de Ov-synch. Paradójicamente, la progesterona que durante el ciclo estral actúa disminuyendo la frecuencia de pulsos de LH, durante el anestro se piensa que bloquea la acción inhibitoria del estradiol sobre el hipotálamo resultando en un aumento de los pulsos de LH. Esto trae la maduración terminal del folículo, aumenta la secreción de estradiol e induce la retroalimentación positiva y el pico ovulatorio de LH al retirar el progestágeno. Como consecuencia, el cuerpo lúteo resultante es de vida media normal.

6.5. LITERATURA RECOMENDADA

- Austin, E.J., Mihm, M., Ryan, M.P., Williams, D.H., y Roche, J.F. 1999. *Effect of duration of dominance of the ovulatory follicle on onset of estrus and fertility in heifers*. J Anim Sci 77:2219.
- Boyd, L.J., y Tasker, J.B. 1971. *Fertility of synchronized dairy cattle treated with gonadotropins and inseminated at predetermined time*. Vet Rec 89:62.
- Cooper, M.J. 1974. *Control of oestrus cycles of heifers with a synthetic PG analogue*. Vet Rec 95:200.
- Corteel, M. *Luteolysis induced by prostaglandin F2 α compared with natural luteolysis in the ewe*. Ann Biol Anim Bioch Biophys 15:175.
- Pursley, J.R., Mee, M.O., y Wiltbank, M.C. 1995. *Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 α and GnRH*. Theriogenology 44:915.
- Schneider, U. Hahn, J. 1979. *Bovine embryo transfer in Germany*. Theriogenology 11:63
- Thatcher, W.W., Patterson, D.J., Moreira, F., Pancarci, M., Jordan, E.R., y Risco, C.A. 2001. *Current concepts for estrus synchronization and*

10. PARTO*

DANIEL CAVESTANY

- 10.1. INTRODUCCIÓN
- 10.2. INICIO DEL PARTO. MECANISMO ENDÓCRINO
- 10.3. ETAPAS DEL PARTO
- 10.4. EL PARTO EN LAS DIFERENTES ESPECIES
- 10.5. ESTÁTICA FETAL
- 10.6. LITERATURA RECOMENDADA

10.1. INTRODUCCIÓN

El parto abarca los diferentes procesos fisiológicos por los cuales el útero expulsa su(s) producto(s) de concepción en el momento adecuado. Para que el parto pueda ocurrir, es necesario que tengan lugar un sinnúmero de cambios, tanto en la madre como en el feto. Estos cambios son básicamente eventos endócrinos que desencadenan a su vez transformaciones de tipo morfológico. Uno de estos cambios morfológicos es que las estructuras ligamentosas de la región pélvica se vuelven más flexibles, debido a una disolución de tejido conectivo. La sínfisis pubiana tiene la capacidad de desmineralizarse, con lo cual el diámetro del canal pélvico se hace mayor.

En las especies domésticas ocurren cambios de comportamiento típicos de una hembra que se aproxima al parto. Éstos son: inquietud, inapetencia y búsqueda de la soledad. También existen cambios físicos que indican la aproximación del parto. Éstos son: aumento de volumen de las glándulas mamarias, relajación de los ligamentos del canal pélvico, edema vulvar y ventral.

10.2. INICIO DEL PARTO. MECANISMO ENDÓCRINO

El parto normal se debe iniciar en un momento tal que combine el grado de maduración del feto con su habilidad para sobrevivir fuera del útero. El inicio del parto es un proceso endócrino, que implica el desencadenamiento

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Parto", elaborado por Alberto Saltiel.

de una serie de eventos que, ocurriendo en forma coordinada culminan con la expulsión del feto y las membranas.

10.2.1. La maduración fetal

Todas las investigaciones al presente coinciden que es el feto el que desencadena este proceso, aunque todavía no está claro si el evento crítico que inicia el proceso es un mecanismo fetal neuroendócrino o si el sistema neuroendócrino fetal responde a estímulos externos. Quizás el desarrollo de sinapsis críticas dentro del núcleo hipotalámico paraventricular del feto permite un aumento en la función neuroendócrina del feto que a su vez altera la síntesis de esteroides fetales e inician el proceso. Otra posibilidad es que, mientras que la presencia del feto es crítica, el aumento de la actividad neuroendócrina fetal, que en definitiva inicia el parto, pueda ser el resultado de otros estímulos. Éstos pueden ser hormonas placentarias o aumento del estrés fetal (cambios en los gases sanguíneos fetales, glucosa o presión sanguínea).

10.2.2. El eje HPA fetal

El eje HPA fetal responde a varios tipos de estrés de los cuales sólo algunos están identificados (hemorragias, hipotensión arterial, hipoxia, hipercapnia, asfisia). La ACTH responde a estos estímulos, los cuales aumentan su actividad. Por otro lado, el eje sigue un patrón ontogénico de actividad, análogo a los ritmos circadianos en adultos, dado que puede originarse en respuesta a un “programa” endógeno dentro del hipotálamo fetal y no a respuestas a estímulos externos. Por analogía con animales adultos, es posible definir el estrés fetal como un aumento en la actividad del eje HPA.

10.2.3. Biosíntesis de E2 y P4 e inicio del parto

El parto no puede continuar sin contracciones uterinas. De hecho, son las contracciones uterinas las que en definitiva definen el parto y resultan en la expulsión del feto. La habilidad del músculo de contraerse depende del potencial de membrana de las células musculares lisas y de la habilidad de estas células de comunicarse. Una hipótesis unificadora que explica el “paso final común” implica un cambio espontáneo en la secreción de estrógenos y progesterona al final de la gestación. De acuerdo con esto, la actividad del miometrio uterino está influenciada por la producción placentaria de estas hormonas. Durante la gestación, las altas concentraciones de progesterona mantienen la quiescencia uterina por hiperpolarización de las células miometriales. Al final de la gestación, hay un aumento en la producción de

estrógenos que producen una relativa depolarización de las células miometriales, lo que hace aumentar su actividad. Estos cambios plasmáticos y tisulares en la concentración de estrógenos estimulan la formación de las “gap junctions”. Estas “gap junctions” son puentes intercelulares que permiten el libre pasaje de iones y moléculas entre células. Son proteínas denominadas conexinas y 4 a 6 de estas proteínas forman un puente o canal intercelular. Son responsables del pasaje del potencial de membrana de una célula a otra, lo que ayuda a aumentar la contractilidad de la fibra muscular. El desarrollo de estos canales es lo que permite las potentes contracciones uterinas que ocurren en el parto.

10.2.4. Ontogenia del eje HPA fetal al inicio del parto

En la oveja, el parto se inicia por un aumento espontáneo en la actividad del eje HPA, debido a un aumento en el contenido hipotalámico de CRH.

Durante las 2 a 3 semanas del desarrollo intrauterino, las adrenales fetales aumentan de tamaño y la sensibilidad tisular a la ACTH aumenta (figuras 10.1 y 10.2).

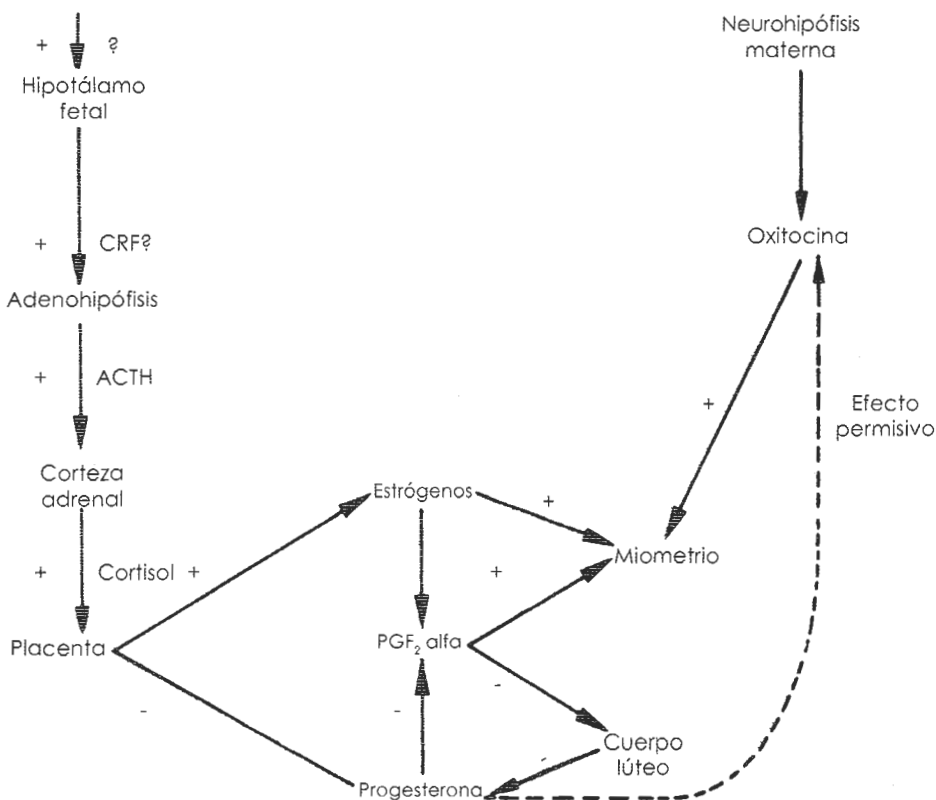


Figura 10.1. Cambios endocrinos que ocurren antes y durante el parto en la vaca, oveja y cerda (adaptado de Noakes y col., 2001)

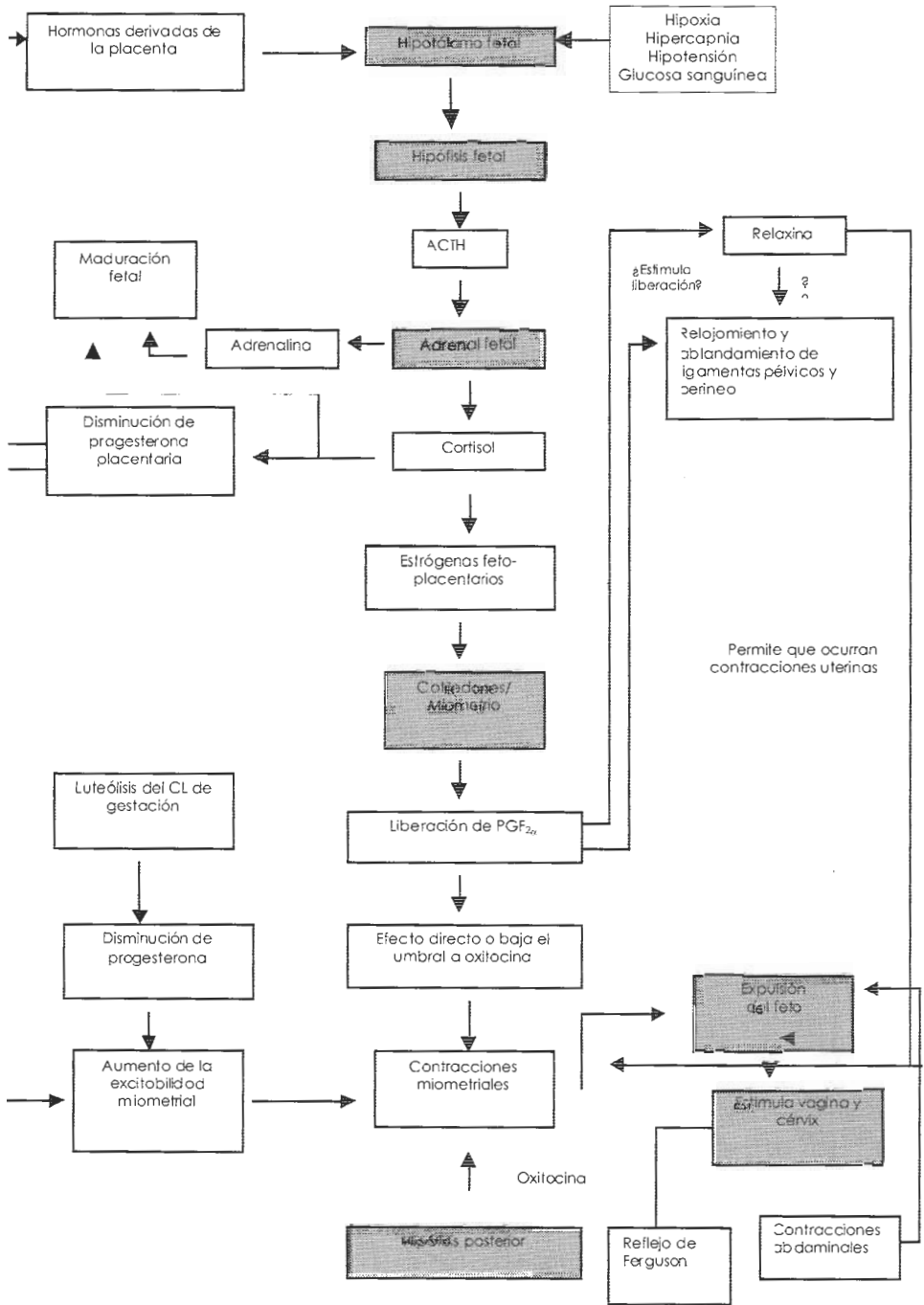


Figura 10.2. Cambios endócrinos que ocurren antes y durante el parto en la vaca, oveja y cerda (adaptado de: Noakes y col., 2001)

10.2.5. El rol de la relaxina

La hormona relaxina es un polipéptido cuya composición presenta una gran variación entre especies. Se produce en el cuerpo lúteo (CL), aunque puede producirse en varios otros tejidos. Su acción principal es provocar el relajamiento de la sínfisis pubiana, aunque también actúa relajando los ligamentos pélvicos y, en algunas especies como la cerda, también en el cérvix, miometrio y glándula mamaria.

10.2.6. El rol de las prostaglandinas y la oxitocina

Las prostaglandinas juegan un importante papel, no sólo en el inicio del proceso sino en el control de las contracciones miométriales. Los niveles de oxitocina se mantienen bajos hasta que la cabeza fetal emerge por la vulva y cuando las membranas fetales son expulsadas. Por lo tanto, es posible que la oxitocina juegue un rol menor en el inicio de las contracciones uterinas. La principal liberación de esta hormona ocurre por la estimulación de receptores sensitivos en la vagina anterior y el cérvix (reflejo de Ferguson).

10.3. ETAPAS DEL PARTO

El parto tiene tres componentes que son: las fuerzas expulsivas, el feto y el canal del parto. Un parto normal, entonces, ocurre cuando las fuerzas expulsivas son suficientes para expulsar a un feto normal y correctamente presentado a través de un canal pélvico de dimensiones adecuadas.

Tradicionalmente el parto se ha dividido en tres etapas, las cuales, si bien a los efectos descriptivos del proceso se describen separadamente, en el proceso del parto la transición de una de ellas a la siguiente es un proceso gradual. Las tres etapas son:

- Inicio de las contracciones miométriales (remoción del bloqueo causado por la progesterona).
- Expulsión del feto.
- Expulsión de las membranas fetales.

10.3.1. Preparación

Este período se refiere al tiempo necesario para la presentación del feto en el canal materno y a la dilatación del cérvix. También es denominado período prodrómico o previo. La presentación del feto se debe a contracciones uterinas de ligera intensidad, movimientos de la madre y movimientos del feto. La dilatación del cérvix se produce por efecto hormonal, principalmente de

estrógenos, ya que el mismo se comienza a dilatar de su extremo vaginal. La presión que ejerce el feto y sus membranas una vez colocados en el canal, completan el proceso.

10.3.2. Expulsión del feto

Esta fase se debe a dos tipos de presión:

- a) Contracciones uterinas directas de aumentada intensidad y frecuencia.
- b) Presión abdominal, con cierre de la epiglotis. Esta presión es un acto reflejo consecuencia de las contracciones uterinas; sin ésta la hembra no ejercerá presión de músculos abdominales. Esta etapa se denomina comúnmente *labor*.

10.3.3. Expulsión de membranas fetales e involución uterina

La vaca y la yegua expulsan la placenta luego de varias horas. Pero en las especies politocas, como la cerda y la perra, las membranas fetales siguen acompañando a los productos en su salida.

La involución uterina, por lo común, necesita de algunos días y este período de involución del útero del estado grávido al pregrávido depende, entre otros factores, del tipo de placentación de cada especie. Así, en especies con placentas de tipo cotiledonario (rumiantes), el período de involución uterina es de alrededor de 4 a 5 semanas; en contraste, en las especies con placentación de tipo difuso, este período dura entre 2 y 3 semanas.

10.4. EL PARTO EN LAS DIFERENTES ESPECIES

10.4.1. Bovino

En la vaca, el feto por lo común se encuentra en decúbito lateral durante el último tercio de la gestación y durante la primera etapa del parto (preparación), rota un cuarto de vuelta y presenta sus miembros anteriores y cabeza en el canal del nacimiento. En especies monotocas como la vaca y la yegua, las contracciones uterinas se inician en el extremo anterior del cuerpo uterino, en contraste con las especies politocas, en donde las contracciones se inician cerca del cérvix con el fin de expulsar el feto más cercano al exterior. Durante el parto, es probable que la separación de los cotiledones sea muy lenta, por lo que la circulación materna-fetal continúa hasta el momento en que el becerro sea expulsado por completo. El cordón umbilical es lo

suficientemente largo para no romperse mientras el feto recorre la mayor parte del canal materno. Esto permite que el feto sobreviva en casos de parto prolongado que, en la vaca puede durar hasta 2 horas. Conforme el becerro atraviesa la vulva, el cordón umbilical se rompe por sí solo. Por lo general, el becerro ha establecido ya su propia respiración y no dependerá más de la oxigenación a través de la circulación placentaria.

Un signo evidente de aproximación del parto es la relajación de los ligamentos pélvicos en la vaca, lo cual es fácilmente reconocible. La glándula mamaria comienza a gotear leche más o menos 12 a 24 horas antes del parto. La vaca pare en posición esternal.

10.4.2. Equino

El desarrollo mamario en la yegua se inicia 3 ó 6 semanas antes del parto; este signo puede no ser muy evidente en la hembra primípara. Aproximadamente 24 horas preparto, la glándula mamaria inicia un goteo lento de calostro, el cual finalmente se endurece en el extremo distal de la teta y se puede observar como un pequeño tapón de apariencia de cera adherido, sellando su orificio. La relajación de ligamentos pélvicos en la yegua no es tan evidente como en la vaca, ya que existen grandes masas musculares que obstaculizan su observación. La yegua es capaz de ejercer gran presión abdominal en la segunda etapa del parto, por esta razón es sumamente rápida (10-25 minutos). Debido a esto, una distocia representa una verdadera situación de emergencia, ya que la yegua ejercerá presión sobre el feto mal colocado, elevando el riesgo de laceraciones rectovaginales, ruptura de arteria uterina media y otros accidentes. El cordón umbilical es muy largo en el equino; esto permite que el producto, una vez expulsado continúe hasta por 15 a 20 minutos conectado a la circulación placentaria. Este hecho es de gran importancia en la sobrevivencia del potrillo, ya que, por esta vía, recibe alrededor de 1.5 litros de sangre que constituyen 30% de su volumen sanguíneo potencial. Debido a esto, es muy importante que el cordón umbilical permanezca intacto y que no sea ligado prematuramente; la mejor práctica es dejar que los movimientos de la madre y el producto originen su ruptura natural.

El instinto maternal en esta especie es muy evidente. Dentro de los primeros 30 minutos posparto, la yegua se para y dirige al potrillo hacia la glándula mamaria.

10.4.3. Porcino

La cerda cambia su comportamiento a través de la gestación, se vuelve dócil y fácil de tratar. Aproximadamente una semana antes del parto, se vuelve

excitable y nerviosa. Si se le permite, la cerda construirá un nido para parir. Un excesivo nerviosismo es un signo negativo, sobre todo en cerdas primíparas, ya que es un precursor de aplastamientos y canibalismo.

El edema vulvar es muy evidente y se presenta dentro de los 7 días preparto. Paren en decúbito lateral; el intervalo entre expulsiones fluctúa desde 3 minutos a 1 hora y las placentas y los lechones son expulsados en forma simultánea o alterna. Su instinto maternal es muy fuerte. Un buen signo de que el parto ha finalizado, es una micción abundante por parte de la cerda.

10.4.4. Ovino

Un signo de aproximación del parto es que la borrega intenta robar sus corderos a otras ovejas. Su desarrollo mamario es tardío y se presenta 1 ó 2 días preparto. Paren en posición esternal. Las membranas fetales del primer producto expulsado, en caso de gestación múltiple, son expulsadas generalmente antes del segundo o tercer producto. La oveja lame mucho a sus corderos; si no lo hiciera, puede representar un signo del futuro abandono de la cría.

10.4.5. Canino y felino

En estas especies el parto es similar al de la cerda, ya que las tres son especies politocas. En general, exhiben docilidad durante la gestación y un gran nerviosismo conforme se aproxima el parto; construyen su nido y dejan de comer 24 horas preparto.

Por lo general, los fetos aparecen envueltos en sus membranas y la hembra los limpia y los lame, estimulando así su respiración. El intervalo entre expulsiones varía de minutos a una hora y la hembra puede pararse y caminar entre la expulsión de un producto y otro. La gente puede producir inhibición de las contracciones, por lo que es recomendable no estar presente durante todo el proceso.

En general, todas las especies paren en las horas de la noche, lo que podría indicar cierto control voluntario de la hembra sobre su propio parto. Prácticamente todas las especies, a excepción de la mujer y la yegua, ingieren las membranas fetales y demás restos del parto. A este hecho se le denomina placentofagia y se puede explicar desde el punto de vista evolutivo por el principio de conservación de la especie, ya que, en estado salvaje, la hembra evitaba dejar huellas del parto con el fin de defender a los productos del ataque de predadores. Existen muchos mitos sobre la placentofagia, entre otros, que las placentas restituyen la pérdida hormonal de la hembra, que

contienen muchas proteínas por lo que son muy nutritivas, que ocasionan la caída de la leche y otras. Es importante que el lector esté consciente de que la placentofagia no ofrece ningún beneficio fisiológico ni a la madre ni al producto. Por el contrario, son difíciles de digerir, especialmente por especies herbívoras, por lo que, siempre que sea posible se deben retirar de la hembra.

10.5. ESTÁTICA FETAL

La estática fetal se refiere a las diferentes presentaciones, posiciones y posturas o actitudes que los fetos adoptan en el canal materno. Es importante definir qué significan estos términos ya que con ellos se puede describir cualquier parto desde el punto de vista obstétrico.

10.5.1. Presentación

La presentación incluye: 1. La relación del eje espinal del feto con el eje espinal de la madre. Cuando los ejes son paralelos entre sí, la presentación será longitudinal; si son perpendiculares entre sí, será transversal o vertical. 2. La porción del feto que se encuentra más cercana al canal del nacimiento. En presentación longitudinal podría ser anterior o posterior, y en presentación transversal, ventral o dorsal (cuadro 10.1).

Cuadro 10.1. Presentación y posición fetal*

PRESENTACIÓN	POSICIÓN**
Anterior longitudinal	Dorso-sacra Dorso-púbica Dorso-iliaca izquierda Dorso-iliaca derecha
Posterior longitudinal	Dorso-sacra Dorso-púbica Dorso-iliaca izquierda Dorso-iliaca derecha
Transversa ventral dorsal	Céfalo-iliaca izquierda Céfalo-iliaca derecha
Vertical dorsal ventral	

*Adaptado de Roberts, S.J. Veterinary obstetrics and genital diseases. Published by the author. Itaca, Nueva York.

**La primera parte del término se refiere al feto y la segunda a la madre.

10.5.2. Posición

Incluye la relación del eje espinal del feto en presentación longitudinal o de su cabeza en presentación transversal con los cuadrantes pélvicos de la madre. Estos cuadrantes son: sacro, pubis, ilíaco derecho, ilíaco izquierdo.

10.5.3. Postura o actitud

Define la relación del cuerpo del feto con sus extremidades incluyendo cabeza, cuello, extremidades anteriores y posteriores. Éstas pueden estar retenidas, flexionadas o estiradas.

10.6. LITERATURA RECOMENDADA

- Adams, W.M., Wagner, W.C. 1970. *The role of the corticosteroids in parturition*. Biol Reprod 3:23.
- Alm, C.C., Sullivan, J.J., First, N.L. 1974. *Induction of premature parturition by parenteral administration of dexamethasone in the mare*. J.A.V.M.A. 165:721.
- Chard, T. 1972. *The posterior pituitary in human and animal parturition*. J Reprod Fertil 16:121.
- Karim, S.M.M. 1972. *Physiological role of prostaglandins in the control of parturition and menstruation*. J Reprod Fertil 16:105.
- Lairman, J.T. 1977. *Parturition in non-human primates*. Biol Reprod 16:28.
- Nathanielz, P.W. 1978. *Endocrine mechanism of parturition*. Ann Rev Physiol 40:411.
- Noakes, D.E., Parkinson, T.J., England, G.C.W. 2001. *Arthur's veterinary reproduction and obstetrics*. 8a. ed. WB Saunders. Nueva York. 868 p.
- Liggins, G.C., Forster, C.S., Grieves, S.A., Schnartz, A.L. 1977. *Control of parturition in man*. Biol Reprod 16:39.
- Roberts, S.J. 1986. *Veterinary obstetrics and genital diseases. Theriogenology*. Edward Brothers, Inc. Ann Arbor, Michigan 48104, USA. 981 p.
- Rossdale, P.D. 1976. *Foaling induced by synthetic prostaglandin analogue (Fluprostenol)*. Vet Rec 99:26.
- Stabenfeldt, G.H., Edqvist, L.E., Drost, M. *Endocrine changes during normal and prolonged bovine pregnancy*. Acta Endocr (KBH), suppl. 199:385.

12. EXAMEN DE LA SALUD REPRODUCTIVA Y ALTERACIONES DE LA FERTILIDAD DE LOS TOROS*

JOSÉ CARLOS FERRUGEM MORAES

- 12.1. INTRODUCCIÓN
- 12.2. EVALUACIÓN DE LA SALUD REPRODUCTIVA DE LOS TOROS
- 12.3. CRITERIOS PARA LA CONDUCCIÓN DE LOS EXÁMENES ANDROLÓGICOS
- 12.4. ALTERACIONES CLÍNICAS FRECUENTES EN TOROS CONSIDERADOS NO APTOS PARA LA REPRODUCCIÓN
- 12.5. PREDICCIÓN DE LA FERTILIDAD
- 12.6. CONCLUSIONES
- 12.7. LITERATURA RECOMENDADA

12.1. INTRODUCCIÓN

La baja tasa anual de nacimientos es un importante punto de estrangulamiento en los sistemas de producción de carne bovina; el número de terneros destetados cada año depende de la fertilidad de las vacas y los toros. En lo que respecta a los machos, la verificación de un buen desempeño reproductivo después de un periodo de empadre, es un indicador eficiente de la fertilidad de un toro o un grupo de ellos. Cuando un fracaso se debe a la baja capacidad reproductiva de los toros y es detectado después del final de la temporada reproductiva, el daño es irreversible. ¿El punto clave es cómo se pueden identificar los toros fértiles antes de los empadres? La evaluación andrológica es una metodología que puede ser empleada para la identificación "a priori" de la fertilidad de los toros.

El objetivo de este capítulo es revisar la metodología empleada para la evaluación de la fertilidad potencial de los toros, una sugerencia de criterios para la ejecución del examen andrológico y su utilización en la predicción de la fertilidad y un resumen de las principales alteraciones en toros que no califican para programas reproductivos.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Examen de la salud reproductiva y alteraciones de la fertilidad de los toros", elaborado por Gerardo Bustamante.

12.2. EVALUACIÓN DE LA SALUD REPRODUCTIVA DE LOS TOROS

Los indicadores de la integridad genital incluyen una evaluación clínica general y particular del sistema genital, incluyendo los testículos, epidídimos, bolsa escrotal, pene, vesículas seminales y las ampollas de los canales deferentes. Los indicadores de la producción seminal se refieren a las evaluaciones de la cantidad y calidad del semen producido, estimados a través de una fracción colectada artificialmente. Los indicadores de la habilidad de monta o libido explican el comportamiento y facilidad en completar el acto sexual para la deposición del semen en el aparato genital de la hembra.

En el cuadro 12.1 se presenta una visión general de la frecuencia de toros que no tienen las condiciones físicas y/o fisiológicas para un buen desempeño reproductivo. Los factores para clasificar a los toros como no aptos para la reproducción están estratificados en indicadores de la integridad genital, de la función gonadal y de la actividad sexual. Los datos son de diferentes regiones, razas y criterios de evaluación; sin embargo, la frecuencia de animales no recomendados para la reproducción es bastante similar, lo que puede ser un indicativo de que los distintos sistemas de evaluación deben identificar con buena precisión al descarte, a los animales efectivamente menos aptos para la reproducción en un dado momento.

El muestreo de la potencialidad reproductiva en cerca de 20 mil toros (cuadro 12.1), indica que entre 14 y 45% de los toros presentan alteraciones

Cuadro 12.1. Frecuencia de toros no aptos para la reproducción y causas del problema

% DE NO APTOS	NÚMERO DE TOROS	INTEGRIDAD GENITAL	FUNCIÓN GONADAL	ACTIVIDAD SEXUAL	LOCAL	AUTORES
14.4	10940	9.5	4.9#	-	EUA (Centro-oeste)	Carroi <i>et al.</i> , 1963
17.4	1902	6.9	10.3	0.2	Brasil (Sur)	Silva <i>et al.</i> , 1981
45.2	1647	9.7	34.7	0.8	Brasil (Sudeste)	Vale Filho <i>et al.</i> , 1986
17.6	335	4.5	12.5	0.6	Brasil (Sur)	Gottschall & Mattos, 1997
33	898	8.4	23.9	0.7	Costa Rica (Caribe)	Chacón <i>et al.</i> , 1999
23.8	3648	10.2	13.6	0.0	EUA (Sudeste)	Kennedy <i>et al.</i> , 2002

Bos indicus y *Bos taurus*.

en el examen andrológico. De este total, menos de 10% de los animales presentaron alteraciones clínicas, que iban desde variaciones morfológicas aparentemente sin gran significado patológico hasta alteraciones del desarrollo testicular o graves procesos inflamatorios. La fracción más importante incluye las alteraciones en la calidad del semen, oscilando del 5 al 35%, y se relacionan principalmente con procesos reversibles de degeneración testicular, debidos en especial a la falta de adaptación de los animales a las condiciones ambientales de explotación. Entre los factores destaca el aspecto racial, con la utilización de animales de origen europeo puros o cruzados en regiones que no son favorables, como los ecosistemas subtropical o tropical. Recientemente también se ha especulado un posible efecto específico de los animales derivados de cruzamientos.

Los técnicos de campo responsables de la selección de los animales, necesitan normas o valores límite para clasificar a los toros como aptos o no para la reproducción. Entre los diversos conjuntos de normas destacan las propuestas por la Sociedad Americana de Teriogenología, la Asociación de Veterinarios del Oeste Canadiense, el Colegio Brasileiro de Reproducción Animal y la Asociación de Veterinaria Australiana. Un estudio sobre la capacidad reproductiva de 2898 toros realizado en Brasil, verificó diferencias significativas entre los criterios para la clasificación de los toros como aptos para la reproducción. Esta investigación reiteró la dificultad para el establecimiento de valores máximos y mínimos para los indicadores de potencialidad reproductiva en función de los factores que afectan cada una de las variables medidas en los animales. Entre los factores que afectan la potencialidad reproductiva de los toros, destacan las diferencias raciales, peculiaridades relativas a los examinadores y sistemas de explotación.

Una alternativa es que los criterios para la clasificación de la potencialidad reproductiva de los toros sean más flexibles. Es decir, deben contribuir para la obtención de mayores tasas de nacimiento, asociadas a una menor tasa de eliminación de reproductores. Dichos criterios más flexibles consideran los fundamentos teóricos de los conjuntos de normas mencionadas y pueden ser resumidos de la siguiente manera: los toros **aptos** no deben presentar lesiones clínicas en los órganos genitales, y de tenerlas, deben ser leves (por ejemplo cicatrices escrotales y dermatitis) sin comprometer la función testicular evaluada por la motilidad, vigor y morfología espermática. El tamaño de los testículos no debe ser un factor de descarte si son simétricos y si el perímetro escrotal es superior a 30 cm, en animales con más de 24 meses de edad, y si los estimadores de la función testicular no están alterados. El valor preferencial para la motilidad espermática debe ser superior a 50%, con vigor superior a 2 (escala entre 0-5), compatible con el porcentaje de espermatozoides normales. El porcentaje de células normales

en los eyaculados, debe ser como mínimo 60%, considerando las distribuciones constatadas en algunos estudios. Los toros que no presenten estos patrones deben evaluarse una vez más y, por tanto, considerarse como **en evaluación**. Después de algunas reevaluaciones será posible obtener un diagnóstico más preciso de la recuperación o no de cada animal. La categoría de los **no aptos**, puede incluso dispensar más de una evaluación cuando se constatan alteraciones obvias en los órganos genitales externos o internos, o asimismo alteraciones físicas no específicas (como problemas en los miembros o articulaciones) acompañadas o no de un cuadro espermático deficiente.

En resumen, los indicadores de la integridad genital permiten la identificación de los animales con problemas reproductivos clínicos graves, para no emplearlos en la reproducción y obtener mayores tasas de fertilidad. Los otros componentes del examen andrológico contribuyen al diagnóstico de alteraciones temporales permanentes de la fertilidad, pero no son eficientes en la predicción efectiva de la fertilidad de cada toro.

12.3. CRITERIOS PARA LA CONDUCCIÓN DE LOS EXÁMENES ANDROLÓGICOS

Una propuesta efectiva para la conducción del examen andrológico debe ser mejorada siempre que surjan nuevas informaciones, sin descuidar los aspectos relativos del costo y beneficio para los productores. Una evaluación no debe basarse exclusivamente en un marco teórico, sino en uno práctico y eficiente.

- CRITERIO 1. Toros jóvenes (antes de la selección zootécnica).
- CRITERIO 2. Toros para comercialización.
- CRITERIO 3. Toros para uso en monta natural.

El CRITERIO 1 incluye una evaluación clínica de los genitales externos para la detección de posibles alteraciones graves, como: hernia escrotal, criptorquidismo y lesiones de origen traumático o inflamatorio. Se trata de un procedimiento simple para la identificación de los animales que se descartarán antes del periodo de recría y finalización.

El CRITERIO 2 incluye la evaluación clínica del sistema genital, la recolección del semen, evaluación inmediata del mismo, espermiograma, exámenes del plasma sanguíneo para la identificación de los portadores de brucelosis, reacción alérgica para el diagnóstico de tuberculosis y otros exámenes complementarios, como la evaluación de libido o capacidad de servicio. Este protocolo debe ser el más detallado, toda vez que estos animales serán comercializados a futuro. Una clasificación de los reproductores con base en el examen andrológico puede obtenerse por un sistema denominado CRGC

(clasificación reproductiva en grupos contemporáneos), empleando la siguiente fórmula:

$$\text{CRGC} = [1 - (\text{No. orden} / \text{N} + 1)]$$

Los animales aptos en el grupo contemporáneo (N) serán ordenados de acuerdo con los valores obtenidos en todos los criterios utilizados (No. orden). La sustitución de los valores en la fórmula produce un índice relativo decreciente para la calificación de los individuos. Otro aspecto interesante es que este índice es proporcional al tamaño del grupo contemporáneo, indicando que será mayor la precisión en las comparaciones en cuanto el número de animales vaya en aumento en cada grupo. Los cuadros 12.2 y 12.3 ilustran la situación propuesta para dos grupos contemporáneos con tres y ocho individuos, respectivamente.

Cuadro 12.2. Grupo contemporáneo con tres toros de 3 años de la raza Brangus-Ibagé, siendo los tres animales aptos

IDENT.	EXAMEN CLÍNICO	PERÍMETRO ESCROTAL	VOLUMEN DE SEMEN	MOTILIDAD	VIGOR	% NORMALES	NÚM. ORDEN	CRGC
741	Saa	37.0 cm	2.0 ml	70%	2	90	1	0.75
734	Saa	37.0 cm	1.5 ml	60%	2	84	2	0.50
739	Cicatriz escrotal	36.0 cm	1.5 ml	50%	3	80	3	0.25

Saa, sin alteraciones aparentes en los órganos genitales.

Fuente: Moraes, 1997.

Cuadro 12.3. Grupo contemporáneo con ocho toros de 3 años de la raza Brangus-Ibagé, siendo siete animales aptos

IDENT.	EXAMEN CLÍNICO	PERÍMETRO ESCROTAL	VOLUMEN DE SEMEN	MOTILIDAD	VIGOR	% NORMALES	NÚM. ORDEN	CRGC
103	Saa	34.0 cm	1.0 ml	70%	3	93	1	0.875
86	Saa	30.5 cm	1.5 ml	80%	3	70	2	0.750
93	Saa	29.5 cm	1.5 ml	80%	4	66	3	0.625
104	Saa	32 cm	1.0 ml	70%	3	70	4	0.500
83	Saa	31 cm	1.2 ml	50%	2	88	5	0.375
89	Saa	28.5 cm	1.0 ml	70%	2	79	6	0.25
102	Testículos flácidos	30 cm	1.3 ml	60%	2	64	7	0.125
100	Testículos flácidos	30 cm	1 ml	30%	1	43	8	0 #

Saa, sin alteraciones aparentes en los órganos genitales.

Es el primero de los considerados no aptos.

Fuente: Moraes, 1997.

El CRITERIO 3 pretende contribuir de manera económica para la evaluación de los toros que no fueron adquiridos en este momento y que serán utilizados para monta natural en grupos. Inicialmente se procede a realizar una evaluación clínica de todos los animales, seguida de los exámenes de semen, espermiograma y aun exámenes de laboratorio para la investigación de enfermedades infecciosas. Después del examen clínico, los toros son estratificados en tres grupos con destinos distintos: aptos, en evaluación y descartados.

Los **aptos**, sin alteraciones clínicas, se consideran en condiciones satisfactorias para la monta natural de 30-40 vacas durante un periodo de 60 a 90 días. El segundo grupo de animales, que continúa **en evaluación**, presentó alteraciones clínicas leves o testículos menores que la media de su grupo contemporáneo. Estos toros se someten a recolección y evaluación del semen. Cuando la motilidad espermática es satisfactoria (motilidad > 50% y vigor > 2), los animales se consideran también aptos. En caso contrario, se realiza el espermiograma para auxiliar en el diagnóstico. Cuando el porcentaje de espermatozoides normales está por abajo de 60%, estos animales continúan en evaluación. El grupo de los **descartados** lo componen los animales con alteraciones clínicas graves, identificados con un único examen.

12.4. ALTERACIONES CLÍNICAS FRECUENTES EN TOROS CONSIDERADOS NO APTOS PARA LA REPRODUCCIÓN

12.4.1. Alteraciones de la integridad genital

Aplasia/hipoplasia testicular. Consiste en el desarrollo incompleto o imperfecto de los testículos. En los bovinos fue descrito como un síndrome característico de origen hereditario, caracterizado por presentar testículos de tamaño reducido, con cierto grado de simetría y con deficiente producción de espermatozoides. Los animales afectados pueden ser subfértiles, no obstante no presentan alteraciones en la libido. El diagnóstico se efectúa por la medición testicular asociada a un cuadro constante de baja motilidad y concentración espermática y alta frecuencia de espermatozoides con alteraciones morfológicas. Muchas veces esta patología ha sido confundida con atrofia testicular, debida a un insuficiente aporte energético en la dieta, que se manifiesta por desgaste o disminución del tamaño de las células y del órgano. Los organismos internacionales que buscan colocar normas para los exámenes andrológicos en bovinos, tienen publicados valores mínimos para el perímetro escrotal en las diversas razas y edades, también en el sentido de facilitar el diagnóstico de la hipoplasia. Así, el perímetro escrotal mínimo de un toro adulto debe ser de 30 cm.

La facilidad, precisión y repetibilidad de la medida del perímetro escrotal como estimador del tamaño testicular, asociadas a su alta heredabilidad, ha hecho que esta medida esté sobrevaluada en el contexto del examen andrológico. Esto es porque el tamaño testicular es una característica afectada por la raza, salud de los animales, alimentación después del destete, característica de los grupos contemporáneos, edad de la madre, peso y altura de los individuos. Hay también algunos datos que demuestran baja asociación entre el tamaño testicular y la función gonadal, por lo que no es recomendable como un criterio único o muy importante en la selección de reproductores. En el cuadro 12.4 se presentan algunos resultados que demuestran que muy difícilmente existe esta asociación biológica.

Cuadro 12.4. Valores medios del perímetro escrotal de 1902 toros adultos clasificados en cuanto a su potencialidad reproductiva

RAZA	TOROS NO APTOS	TOROS APTOS
Devon	35.3	35.9
Santa Gertudris	34.7	33.9
Hereford	34.4	34.8
Charolais	34.4	33.2
A. Angus	35.4	36.7
General	34.8	34.9

Comparaciones entre toros no aptos y aptos dentro de varias razas
Fuente: Silva, et al., 1981.

Aplasia segmentar del epidídimo. Se caracteriza por el desarrollo incompleto o imperfecto de cualquier parte del órgano; es una alteración congénita unilateral o bilateral. En los casos unilaterales, los animales no deben ser empleados en la reproducción, considerando su posible origen hereditario. Esta patología también fue descrita en forma parcial y en la mayoría de las veces el diagnóstico se facilita por el aumento de volumen del conducto del epidídimo con la formación de un granuloma espermático proximal al área afectada debido a la interrupción del tránsito espermático.

Alteraciones postraumáticas o infecciosas. Se pueden diagnosticar en cualquier parte de los genitales de los toros. La **orquitis** es la inflamación del(los) testículo(s), normalmente asociada a **epididimitis**; pueden deberse a procesos traumáticos y contaminantes externos inespecíficos o agentes infecciosos específicos como *Brucella abortus* o *Actinomyces pyogenes*. De un modo general, el pronóstico es desfavorable por causa de la lesión térmica determinada sobre la gónada comprometiendo su función gametogénica en el futuro. El padecimiento es gradual y puede, por ende, haber varios grados de lesión en los testículos.

Las **vesiculitis seminales** consisten en alteraciones anatómicas y funcionales de las glándulas vesiculares, con o sin la presencia de pus en el semen de los toros. En los casos más graves, normalmente unilaterales, los agentes determinantes son bacterias como *Brucella abortus*, *Corynebacterium sp* y otros gérmenes ocasionales. Las variaciones clínicas menos graves son normalmente bilaterales y están presentes agentes como *Chlamydia sp* y *Mycoplasma sp*. La frecuencia de las vesiculitis en toros oscila entre 1% y 5% en casos no endémicos. En el sur de Brasil, un muestreo específico, incluyendo examen clínico y recolección aséptica de líquido seminal, demostró 13.7% de afectados en 95 animales de la raza Hereford (cuadro 12.3). Estos resultados reiteran la asociación anteriormente descrita entre el tipo de lesión en las glándulas y posibles agentes etiológicos identificados en el líquido seminal.

Cuadro 12.3. Frecuencia de casos de vesiculitis seminal en toros de diversas razas oriundos de 11 fincas del sur de Brasil

RAZA	NÚM. DE CASOS / NÚM. DE ANIMALES	TIPO	RESULTADO DE CULTIVO LÍQUIDO SEMINAL
Hereford	10 / 34	Bilateral	<i>Corynebacterium sp</i> <i>Mycoplasma sp</i>
		Unilateral	<i>Corynebacterium sp</i> <i>E. coli</i>
Santa Gertrudis	0 / 12	-	-
Jersey	1 / 5	Unilateral	Negativo gérmenes patogénicos
Holandesa	0 / 12	-	-
Devon	1 / 1	Unilateral	Negativo gérmenes patogénicos
Sintéticas	0 / 4	-	-
Normanda	0 / 10	-	-
Charolesa	1 / 17	Unilateral	Negativo gérmenes patogénicos

Datos no publicados de Moraes, 1980.

Acrobustitis o postitis ulcerativa. Se caracteriza por la aparición de úlceras y escaras adheridas a la piel del orificio del prepucio. Su etiología es compleja, pudiendo participar el *Corynebacterium renale*, alimentación rica en proteína, o también su asociación al herpes virus bovino. En los casos graves las lesiones pueden afectar la mucosa interna del prepucio. La recuperación de los animales es fácil, incluyendo reposo sexual y limpieza local con soluciones desinfectantes iodadas. La importancia de esta afección es que en animales empleados en monta natural existe la posibilidad de futuras adherencias, comprometiendo quizá la fertilidad.

12.4.2. Alteraciones de la función gonadal

La **degeneración testicular** es la principal alteración en la producción espermática que compromete la fertilidad de los bovinos y ovinos. Es una alteración adquirida que puede afectar uno o ambos testículos de forma permanente, progresiva o también temporal. Un sinnúmero de factores pueden determinar la degeneración, particularmente el aumento de la temperatura escrotal después de procesos inflamatorios locales o sistémicos, determinando falla o carencia total en el mecanismo de termorregulación testicular. Otros factores estresantes, por ejemplo inyecciones de corticoides, pueden causar el mismo cuadro característico de reducción en la motilidad, concentración espermática y en el número de espermatozoides normales. El aspecto fundamental es que raras veces este proceso es permanente, siendo importante el diagnóstico diferencial de hipoplasia testicular. Es interesante considerar que algunos toros inician un proceso de degeneración testicular senil a partir de 8-10 años de edad. El diagnóstico se basa en la historia clínica y el examen de los testículos con o sin el uso de aparatos de ultrasonido, siendo el tratamiento limitado a reposo sexual después de la remoción de la(s) posible(s) causa(s), incluyendo nuevas evaluaciones entre 20-40 días para el acompañamiento del cuadro patológico.

Otras alteraciones relacionadas con la función gonadal han sido diagnosticadas en baja frecuencia. Entre éstas destacan la **espermatogénesis alterada** y la **disfunción epididimaria**. Un tipo peculiar de alteración en la gametogénesis fue diagnosticado y caracterizado en toros oriundos de cruzamientos entre cebuínos y taurinos, justificando las mayores frecuencias de descarte de los toros "híbridos". Estos animales presentan deficiente calidad de semen, dependiente de la interacción entre los genomas originales y la capacidad diferencial de selección de espermias anómalos en el epidídimo, posiblemente originados durante la fase de maduración espermática.

12.4.3. Alteraciones de la actividad sexual

La **libido** o instinto sexual se determina genéticamente; sin embargo, muchos factores ambientales pueden afectar o modificar el comportamiento sexual de un toro. Entre éstos se pueden destacar la nutrición, la edad, las prácticas de manejo y factores físicos relacionados con lesiones en otros órganos, como la columna o los miembros. La determinación de la libido puede ser realizada de diferentes maneras, basadas normalmente en el número de montas efectuadas en un determinado periodo.

La simple manifestación del deseo sexual no es suficiente para la deposición del semen en la vagina de la vaca, siendo importante la inves-

tigación de la **habilidad de monta**, que comprende las etapas de la cópula, desde la manifestación de la libido, erección y exteriorización del pene, la procuración de la vulva y vagina de la hembra, hasta los movimientos característicos de la eyaculación. Estos factores son fundamentales en la selección y calificación de un toro como apto para la reproducción, pues fallas en la monta por cualquier factor provocan problemas reproductivos en el hato. Diversos estudios demostraron los aspectos cuantitativos de la habilidad de monta denominada **capacidad de servicio**, aspecto muchas veces asociado a mayor fertilidad en rebaños en que la monta natural es el método utilizado por la competencia diferencial de algunos toros. La prueba de capacidad de servicio consiste en la cuantificación del número de montas en hembras sujetas que un toro ejecuta en 20 minutos, permitiendo la clasificación de los animales como de baja, media, alta y hasta muy alta capacidad de servicio.

Diversas patologías del pene, prepucio, cascós y articulaciones pueden comprometer la actividad sexual. Los detalles anatómicos y patológicos de tales disfunciones se han descrito en diversos textos clásicos.

12.5. PREDICCIÓN DE LA FERTILIDAD

En las últimas décadas, diversos indicadores de la función gonadal transmitidos a través de la calidad del semen han sido propuestos por diversos autores, siendo correlacionados positivamente con la fertilidad, mas con baja utilidad en la predicción "a priori" de la fertilidad.

Un buen ejemplo de la dificultad en la predicción de la fertilidad fue observado en los datos de fertilidad de 21 toros de la raza Brangus-Ibagé, con edad entre 3 y 9 años, que fueron sometidos a examen andrológico antes de la monta natural. Todos los toros estaban aptos antes del empadre,

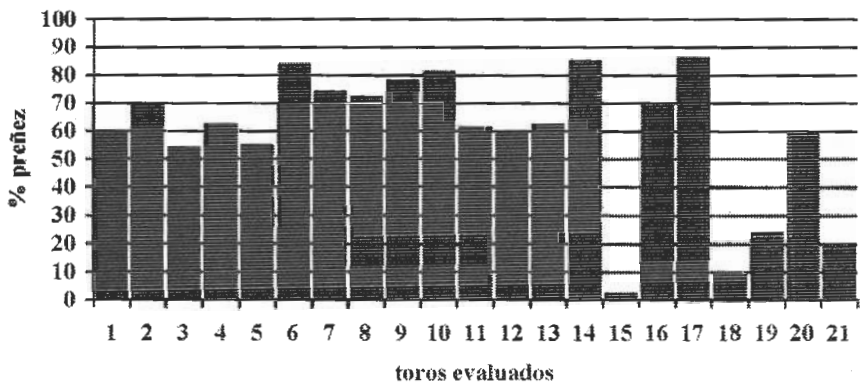


Figura 12.1. Tasa de preñez en 21 grupos de 40 vacas durante 90 días en empadre simple (Fuente: Moraes, 1995)

presentando los siguientes valores modales de los indicadores del examen andrológico: perímetro escrotal de 35 cm, motilidad espermática de 50%, vigor de 2, y porcentaje de espermatozoides normales de 77%. En tres años fueron cubiertas 1110 vacas, en grupos con 40 hembras por toro. Estos grupos, incluyendo 20-40% de vaquillas y las demás siendo vacas con cría al pie, presentaron una tasa media de preñez de 70% después de 90 días de empadre. Cuatro de los 21 toros (19%) fecundaron menos de 25% de las hembras (figura 12.1). Estos resultados indican que el examen andrológico es útil para la obtención de una buena fertilidad media; entre tanto, algunos toros no presentaron desempeño satisfactorio aun con la calificación de aptos en la evaluación “a priori” a través del examen andrológico.

12.6. CONCLUSIONES

- El examen andrológico permite identificar a los toros con graves problemas reproductivos y sacarlos de las fincas; por lo tanto, hay que informar a los productores de su utilidad e importancia como factor de incremento de producción.
- No se deben sobrevalorar los indicadores individuales del examen andrológico, hay que interpretar todos los indicadores buscando una clasificación final de cada toro.
- Los indicadores de valores críticos son deficientes para la obtención de conclusiones sobre la fertilidad potencial de los toros.
- Los componentes del examen andrológico están correlacionados con la fertilidad, pero no son buenos para realizar predicciones de la fertilidad de los toros.

12.7. LITERATURA RECOMENDADA

- Amann, R.P. 1996. “Evaluation of sperm quality: We can pick the winners?” En: Congresso Brasileiro de Reprodução Animal, 11, Anais Belo Horizonte, pp. 206-212.
- Bourdon, R.M., Brinks, J.S. 1986. *Scrotal circumference in yearling Hereford bulls: Adjustment factors, heritabilities and genetic, environmental and phenotypic relationships with growth traits.* J Anim Sci 62: 958.
- Brito, L.F.C., Silva, A.E.D.F., Rodrigues, L.H., Vieira, F.V., Deragón, L.A.G., Kastelic, J.P. 2002. *Effects of environmental factors, age and genotype on sperm production and semen quality in Bos indicus and Bos taurus AI bulls in Brazil.* Anim Reprod Sci 70: 181.

14. ALTERACIONES DEL MACHO*

CLAUDIO PIMENTEL

- 14.1. INTRODUCCIÓN
- 14.2. ALTERACIONES EN EL CUADRO ESPERMÁTICO DE TOROS
- 14.3. ENFERMEDADES VENÉREAS
- 14.4. CONCLUSIONES
- 14.5. LITERATURA RECOMENDADA

14.1. INTRODUCCIÓN

La actividad reproductiva del macho es diferente a la que presenta una hembra; en el caso de esta última, su intervención se limita a una actitud de aceptación. El macho, en cambio, debe realizar la cópula, lo cual involucra la erección, monta, introducción del pene y eyaculación. Asimismo, un toro, por ejemplo, debe tener la capacidad para servir por lo menos a 25 vacas por temporada en un régimen de monta natural, así como fecundar millares de hembras cuando es utilizado en un programa de inseminación artificial. Por esto, cualquier alteración en la función reproductiva de un macho puede tener resultados desastrosos en la economía de la explotación.

El conocimiento de las diferentes anomalías que presenta un macho, no sólo en el aparato reproductor sino también en cualquier parte del organismo, permite determinar si es posible que un animal realice en forma normal su función reproductiva, o bien en qué manera y hasta qué grado se puede ver afectada dicha función.

En este capítulo se tratan tres aspectos de la patología reproductiva del macho; particularmente en el caso del toro, su fertilidad puede verse afectada por tres circunstancias:

- a) Cuando hay comportamiento sexual pero el toro no es capaz de depositar su semen en el aparato genital de la vaca.
- b) Cuando el semen es de baja calidad.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Alteraciones del macho", elaborado por Gerardo Bustamante.

- c) Cuando se presentan microorganismos en el semen y/o los genitales que impiden la fecundación y manutención de la gestación (agentes infecciosos).

14.1.1. El comportamiento sexual (*Impotencia coeundi*)

Se considera que la potencia sexual de un semental es la capacidad física de todo su organismo para coordinar y cumplir con el acoplamiento. Esto significa, por ejemplo, una lesión en los miembros posteriores.

En los machos de todas las especies se observan signos que van desde la completa falta de interés sexual (libido) e incapacidad para copular, hasta una leve lentitud en la cópula (habilidad de servicio) o la presencia de un periodo refractario muy tardado ocasionando que la recuperación de la erección y la realización del segundo servicio sea muy demorada (capacidad de servicio). Por lo tanto, *la impotencia coeundi* puede generarse de tres componentes:

1. Libido.
2. Habilidad de servicio.
3. Capacidad de servicio.

La conducta de apareamiento depende en grado variable de estímulos visuales, olfatorios, auditivos y táctiles. En todas las especies quizá los estímulos visuales y táctiles sean los más importantes en la cópula, pero los machos ciegos con experiencia pueden copular. El impulso sexual o libido está determinado en gran medida genéticamente, pero las influencias ambientales desempeñan un papel importante.

14.1.2. Factores ambientales que afectan el deseo sexual y la capacidad copulatoria

Varios factores pueden afectar al comportamiento sexual y su subsecuente fertilidad, además de la nutrición, las enfermedades sistémicas, la edad y las prácticas de manejo utilizadas en la finca.

14.1.3. Nutrición

Los machos delgados, emaciados o los que sufren deficiencias nutricionales, pueden tener un impulso sexual disminuido; si la inanición es grave, hay falta total de libido. En los animales jóvenes con deficiencias nutricionales se puede retardar la presentación de la pubertad. Por otro lado, los machos sobrealimentados tienden a volverse perezosos y sufren problemas en las articulaciones y patas debido a su

peso excesivo. La administración de abundante forraje en rumiantes puede causar un notable agrandamiento del abdomen, que interfiere con la cópula.

14.1.4. Enfermedades sistémicas

Cualquier enfermedad crónica o aguda y debilitante que produce rápida pérdida de peso, depresión y debilidad, causará una pérdida variable del deseo sexual. Entre dichas afecciones se pueden considerar las neumonías, enteritis, tuberculosis, paratuberculosis, pediculitis, actinomicosis, linfomatosis, necrosis grasa progresiva, parasitosis interna grave y metástasis tumoral avanzada. La prevención y atención debida en casos de afecciones que lo permitan, restituirá el deseo sexual del macho.

14.1.5. Edad

Los machos muy jóvenes muestran con frecuencia una falta parcial o total de deseo sexual. En toros jóvenes existe una marcada variación en cuanto a la presentación del deseo sexual y la pubertad, lo cual se ha demostrado que puede estar relacionado con la calidad de la dieta. La falta de experiencia en los toros jóvenes también se puede confundir con la falta de libido. En los toros viejos la falta de libido puede deberse a la senilidad, artritis o uso excesivo.

14.1.6. Prácticas de manejo

La libido varía según su impulso sexual básico (determinado genéticamente) y de la forma en que se entrena, trata y maneja al semental. Los animales jóvenes aislados de otros individuos de su especie se asustan con frecuencia con la presencia de otros machos o de hembras activas, por lo que son lentos en copular debido a la inexperiencia y timidez. Por esto, los animales jóvenes deben tratarse con paciencia y cuidado, especialmente si se desea colectar semen con vagina artificial. Si el macho asocia el "sexo" con dolor o castigo, puede decidir abandonar esta práctica.

14.1.7. Lesiones y procesos patológicos articulares, musculares, nerviosos, óseos y tendinosos

Estas lesiones, principalmente si involucran a los miembros posteriores, pueden provocar la reducción o pérdida de la conducta reproductiva. La coxitis se puede observar en perros y cerdos y con menor frecuencia en toros y caballos. La ruptura del ligamento redondo se puede observar en toros con coxitis degenerativa. Otros estados que también provocan problemas en los mamíferos son: pododermatitis, necrosis interdigital y tendinitis.

En toros y perros la impotencia puede vincularse con afecciones de la columna vertebral, caracterizándose por rigidez y dolor al caminar. Dichas afecciones podrían ser: anquilosis, espondilosis de las vértebras lumbares y dorsales, sinartrosis y espondilartrosis. Se ha mencionado la posibilidad de que un gran número de afecciones de la columna vertebral se puedan deber a un excesivo consumo de calcio.

Los ataques agudos de “contracciones” en toros con síndrome espástico pueden interferir con la cópula o impedirla. El pronóstico para los animales con este tipo de lesiones dependerá de la gravedad del estado y del tratamiento que se siga.

14.1.8. Enfermedades de pene y prepucio

Estas enfermedades son causa común de incapacidad o dificultad para copular, y con frecuencia producen una acentuada reducción del deseo sexual.

14.1.9. Incapacidad para exteriorizar el pene

Esto puede ser por:

1. Anomalías congénitas del desarrollo del pene y prepucio, con o sin pseudohermafroditismo peroculino (perros Boston y Terrier). En el toro se ha descrito el pene doble, “bifalo”, con una configuración en forma de horquilla, por lo que no es posible la cópula; sólo uno de los penes presenta uretra. En ovinos se ha descrito la abertura uretral congénita en la parte ventral del ano asociada a dos escrotos separados.
2. Pene corto congénito en toros, chivos, verracos y caballos. En estos casos el músculo retractor es normal. Los animales jóvenes pueden copular, pero los animales viejos no están en posibilidad de realizar la cópula por el abultamiento del abdomen.
3. Músculo retractor del pene congénitamente corto. Los animales con este defecto están en condiciones similares a los del punto anterior.

14.1.10. Desviación del pene (phalocampsis)

Es causa común de incapacidad para copular y pérdida de libido. Se presenta principalmente en razas como la Angus, Shorthorn y Hereford. Las desviaciones se pueden deber a la persistencia congénita del frenillo ventral. La desviación en espiral o tirabuzón es común en toros jóvenes y en algunos casos se corrige. La afección puede ser por la maduración precoz de las

estructuras de apoyo del pene con posterior desarrollo del mismo bajo la influencia de la testosterona. Otro tipo de torsión es la ventral o en "arco iris", la cual imposibilita totalmente la cópula, ya que mientras más erecto se encuentre el pene, mayor será la desviación.

14.1.11. Adherencias del pene y prepucio, tumores, fimosis y parafimosis

La disminución de la libido y la incapacidad para copular pueden asociarse con fimosis debida a adherencias de la flexura sigmoidea del pene o de las partes más profundas del prepucio, tumores del pene y del prepucio, estenosis del orificio prepucial, parafimosis, parálisis secundaria del pene y edema debido a daño nervioso.

1. Las adherencias del pene en la región de la flexura sigmoidea en toros y carneros pueden deberse a traumatismo por lesiones provocadas por los cuernos. Estas adherencias de tejido conjuntivo impiden la elongación de la "S" peneana; el tratamiento de dichas adherencias, generalmente, lleva a la formación de más adherencias.

La ruptura o fractura del pene con hematoma secundario se observa, en general, en el toro y rara vez puede ocurrir en el garañón si la hembra patea el pene durante la cópula.

La fractura del pene es frecuente en toros excesivamente activos. La lesión ocurre durante el acoplamiento cuando la hembra cae de manera repentina por el peso del toro o por torsión ventral del pene contra la base de la ubre cuando el toro empuja presentándose la ruptura dorsal de la túnica albugínea.

Al producirse la fractura se forma un hematoma que es leve y fluctuante en principio, para después volverse firme y duro a medida que coagula. Hay presencia de dolor pero la temperatura local no es muy elevada. En el caballo, el hematoma no se origina por ruptura de la túnica albugínea sino por rexis de los vasos subcutáneos del pene.

2. Tumores del pene y el prepucio. En toros, garañones y perros pueden causar fimosis o parafimosis. En toros, el único tumor importante es el fibropapiloma transmisible. Este tumor es similar al que se observa en la vulva de vaquillas. El fibropapiloma no representa un problema grave, ya que se puede resolver por extirpación del tumor, autovacuna o inclusive por recuperación espontánea. En el garañón se puede presentar el carcinoma de las

células escamosas, que es un tumor de baja malignidad. También se pueden encontrar papilomas, angiomas y melanomas en pene y prepucio. En el perro se presenta el tumor venéreo transmisible, que se transmite en general por el coito. También se pueden encontrar sarcomas en el pene y prepucio.

3. Fimosis o estenosis del orificio prepucial. Esto impide la exteriorización normal del pene, por lo que hay imposibilidad para copular. La estenosis prepucial es generalmente adquirida y se debe a lesiones infectadas. En toros cebú es común la fimosis debido al prolapso prepucial. En el perro la estenosis prepucial se corrige con la incisión dorsal del orificio prepucial externo. El prolapso prepucial crónico es muy común en bovinos derivados del tipo *Bos indicus*, en los cuales existe predisposición genética para presentar fimosis.
4. La parafimosis o incapacidad de retraer el pene produce edema y balanopostitis; ocurre después de la erección del pene a través de un orificio prepucial estenosado. Puede presentarse debido a traumatismo o parálisis espinal. El pronóstico depende del grado, causa y tratamiento instituido.

14.1.11.1. Causas diversas

Las hernias umbilicales, así como el abdomen pendular, pueden interferir con el acoplamiento normal o impedirlo. Otra causa puede ser la erección prematura, la cual se puede presentar en perros, garañones y en algunos toros, impidiendo la penetración normal del pene. En general, la total erección del pene ocurre durante la cópula. Los animales que presentan este defecto pueden ser ayudados dirigiendo el pene a la vulva antes de que obtengan la máxima erección.

La pérdida de inervación sensitiva del glande impide la introducción normal del pene y el reflejo de "empuje" necesario para la eyaculación, por lo que declina el impulso sexual. Esto puede ocurrir debido a lesiones del nervio dorsal del pene, secundarias a ruptura o fractura del pene. Los cálculos urinarios alojados en la uretra originan dolor agudo, obstrucción y ruptura de la uretra, por lo que se presenta resistencia a la cópula e imposibilidad para eyacular.

14.2. ALTERACIONES EN EL CUADRO ESPERMÁTICO DE TOROS

(IMPOTENCIA GENERANDI)

La fertilidad es el resultado del funcionamiento normal de los testículos, glándulas accesorias y conductos que deben producir semen en calidad y cantidad normales. La falla en producir espermatozoides capaces de fecundar

resulta en *impotencia generandi*. Hay diversas causas que originan este tipo de impotencia, pudiendo ser de efecto permanente o temporal.

14.2.1. Degeneración testicular progresiva

Fisiológicamente ocurren procesos degenerativos en el epitelio seminífero, haciendo que la eficiencia de la multiplicación espermatogonial nunca sea del 100%. En las especies sujetas a la estacionalidad reproductiva ocurre una mayor degeneración del epitelio seminífero en los meses de menor actividad sexual, sin embargo todavía dentro de los parámetros fisiológicos. En contraste, en condiciones patológicas la magnitud de la degeneración afecta de tal manera que el espermiograma es el método de diagnóstico a elegir para evitar una subfertilidad en el rebaño. Las causas pueden ser diversas, pero siempre aquellas que afectan el equilibrio homeostático en el animal son las que más comúnmente producen un espermiograma alterado. Pueden ser causas de degeneración testicular: trastornos hormonales; térmicos (locales o sistémicos); desequilibrios nutricionales (carencias de vitaminas y minerales); intoxicaciones; traumatismos; agentes infecciosos sistémicos o locales. Las principales características del espermiograma de toros con degeneración testicular son: disminución de la motilidad, disminución de la concentración, aumento de las anormalidades espermáticas y progresivo deterioro en la calidad del semen. El tratamiento consiste en la eliminación de la causa y proporcionar confort al animal. Se debe vigilar que las necesidades nutricionales y de manejo sean atendidas. Sin embargo, frecuentemente no es posible diagnosticar la causa de los procesos de degeneración testicular.

14.2.2. Degeneración testicular reversible

Es el proceso patológico en que la causa de degeneración testicular incide por un periodo corto (como un proceso febril, por ejemplo) y desaparece, permitiendo que el cuadro espermático retorne al normal, en un periodo que puede variar entre 7 y 12 semanas. Este proceso ha sido reproducido experimentalmente de diversas maneras: una de ellas es colocando una bolsa aislante térmica que envuelva la bolsa escrotal e impida el proceso de termorregulación testicular. Otro método es aplicar corticoides durante una semana, produciendo un bloqueo gonadotrófico; y el uso de cirugías testiculares, como biopsia, por ejemplo. Este proceso tiene una fase inicial que afecta la motilidad y la concentración, y provoca el surgimiento de espermatozoides decapitados y el aumento de la gota citoplasmática proximal; esta fase es seguida de una fase de *plateau*, que se caracteriza por aumento en el porcentaje de los defectos en la cabeza, y la movilidad y la concentración

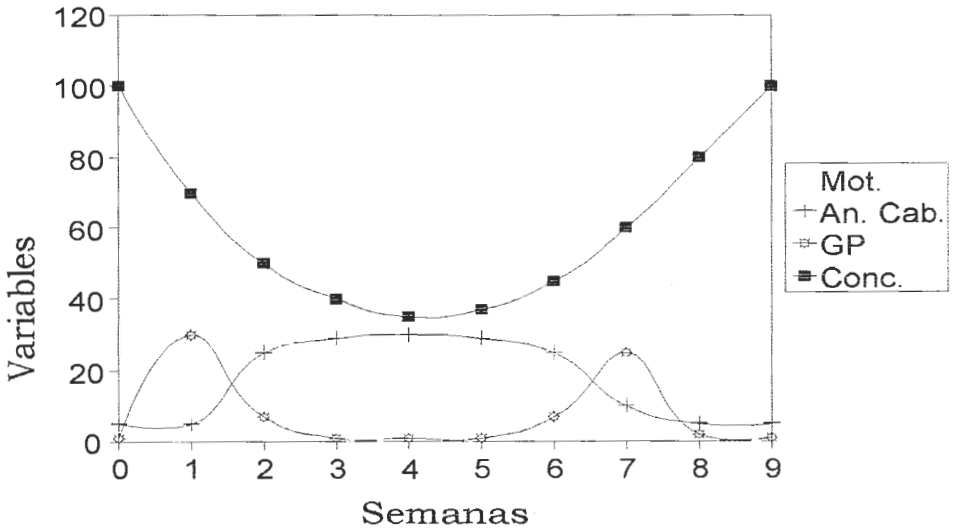


Figura 14.1. Degeneración testicular. Diagrama de la dinámica del proceso de degeneración testicular reversible (*Mot.* = Motilidad, *An. Cab.* = Anormalidades de la cabeza, *GP* = Gota citoplasmática proximal, y *Conc.* = Concentración espermática)

Fuente: Pimentel, 2000.

bajas; después de la fase de *plateau*, viene la fase de regeneración, que se caracteriza por el retorno del cuadro espermático a sus condiciones normales. La figura 14.1 muestra la dinámica del proceso degenerativo de acuerdo con experimentos realizados en toros.

14.2.3. Orquitis

La orquitis se refiere a la alteración inflamatoria de los testículos. Puede ser de origen infeccioso, traumático o autoinmune. Se presenta como un cuadro espermático de degeneración testicular, asociada sin embargo a signos clínicos, tales como aumento del tamaño de la gónada, aumento de la temperatura, signos de lesiones en la bolsa escrotal y a veces se pueden presentar leucocitos en el eyaculado. En el tratamiento, así como en la degeneración testicular, debe ser fundamental la eliminación del factor causal. Cuando ésta es por brucelosis o tuberculosis, se aconseja la eliminación del animal. En casos unilaterales, la orquidectomía puede beneficiar la espermatogénesis gracias a la hipertrofia compensatoria del testículo contralateral.

14.2.4. Hipoplasia testicular

La hipoplasia testicular se produce debido al subdesarrollo congénito de las gónadas, caracterizada por un bajo número de células germinativas en los

túbulos seminíferos. Así como la hipoplasia ovárica, ésta es una anomalía hereditaria causada por un par de genes recesivos de penetración incompleta y expresión variable. El cuadro espermático es semejante al de una degeneración testicular; sin embargo puede diferenciarse por su carácter irreversible, en cuanto que la degeneración tiene un perfil dinámico. Además, está asociado con testículos de tamaño reducido. Histológicamente, la hipoplasia testicular puede diferenciarse de la degeneración porque en esta última siempre hay áreas de fibrosis, principalmente un engrosamiento de la membrana basal. En la hipoplasia se presenta una ausencia completa del epitelio germinativo, con la presencia apenas de células de Sertoli en el interior de los túbulos seminíferos. En la degeneración existen células con características espermáticas, pero con vacuolización del epitelio en diferentes estadios de degeneración. Por medio de un estudio epidemiológico se puede identificar la naturaleza hereditaria, ya que los parientes pueden ser subfértiles y presentar el defecto pero de manera discreta. No hay tratamiento y su control se dificulta por la variabilidad de la manifestación del defecto, además de la gran frecuencia de portadores heterocigóticos y homocigóticos clínicamente normales. La principal actitud que debe ser tomada en cuenta es evitar la propagación usando técnicas como la inseminación artificial. No es un padecimiento que se pueda erradicar, pero es recomendable eliminar a los animales considerados como clínicamente diagnosticados con hipoplasia testicular.

14.2.5. Inmadurez sexual

Un retraso en la pubertad puede confundirse con hipoplasia testicular. Clínicamente el animal presenta gónadas de tamaño reducido y cuadro espermático típico de hipoplasia; sin embargo, la edad del animal es un indicativo de que tal vez no ha alcanzado la madurez debida. La evolución progresiva de este tipo de animal, tanto del diámetro testicular como del cuadro espermático, indica un progreso en los animales con inmadurez sexual; se debe investigar la causa del retraso de la pubertad.

14.2.6. Espermatogénesis imperfecta

Este padecimiento se caracteriza por una hipoespermatogénesis de naturaleza congénita que se acompaña en ocasiones de testículos pequeños. El padecimiento es hereditario y va desde infertilidad severa hasta esterilidad. Difiere de la hipoplasia testicular clásica por no tener equivalencia en las hembras. En estos casos ocurre una falla congénita en la espermatogénesis generando defectos específicos en el eyaculado o eyaculados de bajísima calidad. En este grupo están incluidos los casos de "Knobbed Sperm", "Multipo-

lar Spindle Formation” y “Sticky Chromosome”. No hay tratamiento y su control debe basarse en la eliminación de los portadores clínicos para evitar la difusión de descendientes de los mismos.

14.2.7. Tumor testicular

Los tumores testiculares son más comunes en toros viejos entre los 7 y 10 años de edad. Entre los tumores testiculares existen tres tipos, los de las células intersticiales, los que se presentan en el epitelio germinativo y los de las células de Sertoli. Los tumores de las células intersticiales afectan la calidad del semen de toros cuando su diámetro es superior a 1 cm. Como consecuencia, ocurre una degeneración testicular resultante del exceso de esteroides producidos por este tipo de tumor. La palpación de estos tumores se asemeja a la rugosidad de la pasta de un libro con secciones muy flácidas (consistencia de hígado). Los otros tipos de tumores son más raros en toros. Si se considera la edad y la relación costo beneficio, en ciertos casos puede ser benéfica la castración del testículo comprometido cuando es unilateral. La ultrasonografía puede emplearse con éxito en el diagnóstico, valoración y pronóstico de este tipo de alteraciones.

14.2.8. Epididimitis

La epididimitis es la principal afección del epidídimo. Puede ser causada por los mismos agentes de la orquitis o ser secundaria a esta afección. Dentro de los principales agentes infecciosos están: *Brucella abortus*, *Arcanobacterium pyogenes*, *Corynebacterium pseudotuberculosis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycoplasma bovis*, *Mycoplasma bovis genitalium*, *Streptococcus* sp., *Staphylococcus* sp., y *Proteus* sp. Los traumatismos también pueden causar epididimitis. Una vez que se ha afectado el epidídimo, no hay solución, pues el canal se obstruye y no hay paso de espermatozoides. Si el problema es bilateral se tiene que eliminar al animal. Desde el punto de vista epidemiológico es importante la identificación de la causa para que se tomen las medidas necesarias.

14.2.9. Granuloma espermático

Los ductos eferentes resultan de la confluencia de la rete testis en el polo proximal del testículo y son en número de 13 al 15 en el toro. Estos conductos confluyen formando un solo ducto, el cual finaliza en un fondo de saco que para fines prácticos forma un quiste en la cabeza del epidídimo, por lo que el crecimiento continuo de este quiste puede causar la ruptura de su pared y, por consecuencia, un extravasamiento de espermatozoides. El contacto de estos espermatozoides con el tejido conjuntivo determina una

degeneración de estas células espermáticas y la liberación de ácido micólico que causa la formación de granuloma espermático. Ésta es la alteración clínica más frecuente de la cabeza del epidídimo.

14.2.10. Alteraciones de la vesícula seminal

Entre las alteraciones más frecuentes de la vesícula seminal están la vesiculitis, hipoplasia, agenesia y aplasia segmentaria. Hasta hoy las causas más comunes de vesiculitis todavía son difíciles de diagnosticar. Los agentes aislados de casos clínicos son: *Brucella abortus*, *Arcanobacterium pyogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycoplasma* sp. y *Ureaplasma* sp. Los factores predisponentes, como la actividad homosexual entre toros jóvenes, son una posibilidad, aunque no hay consenso entre los investigadores. La terapia de esta alteración (con antibióticos y cirugía) también es muy cuestionada. Hay casos que responden por sí solos con reposo exclusivamente. Sin embargo, en casos de *Brucella abortus* se recomienda la eliminación del reproductor. El *Ureaplasma* sp. ha recibido atención recientemente por la posibilidad de transmisión venérea y consecuencias dañinas en los órganos genitales de la hembra. Al hacer la palpación rectal de las vesículas, se nota una alteración en la forma y tamaño. El semen de toros portadores de vesiculitis presenta baja motilidad, pero la concentración y la morfología espermática son normales; sin embargo, contiene células inflamatorias que se pueden verificar utilizando tinciones apropiadas.

14.2.11. Ámpulas de los ductos deferentes

La ampullitis es la inflamación de las ámpulas de los ductos deferentes y generalmente está asociada a la vesiculitis seminal. Los principales agentes asociados a esta inflamación son los mismos de la vesiculitis seminal. Clínicamente se diagnostica porque hay un engrosamiento de las paredes de la ámpula y pus en el semen, el cual presenta buena motilidad inicial pero que decae drásticamente al correr el tiempo. Raramente las medidas terapéuticas surten efecto y el éxito del tratamiento depende del agente causal. Otra alteración frecuente de las ámpulas es la aplasia segmentaria, debido a una falla en su formación. Por consecuencia hay un bloqueo en el paso de los espermatozoides y un subsecuente engrosamiento próximo a la región no afectada.

14.3. ENFERMEDADES VENÉREAS

Son enfermedades causadas por agentes transmitidos a través de la cópula. Debido a su modo de transmisión y su presencia en el huésped, las

enfermedades venéreas pueden estar presentes en un rebaño durante meses sin que se perciban.

14.3.1. Principales agentes

Los principales agentes responsables de las enfermedades venéreas en bovinos son dos: tricomonosis y vibriosis. La tricomonosis es causada por *Trichomonas foetus*, el cual es un protozoario que mide de 10 a 25 μ de largo por 5 a 10 μ de ancho. Si se le compara con un espermatozoide bovino es bastante más grande (5 a 10 μ). La enfermedad fue descrita en Europa entre 1888 y 1900. En 1932 fue diagnosticada en los Estados Unidos y fue considerada uno de los mayores problemas de reproducción bovina en esa época. Los primeros casos fueron diagnosticados en ganado lechero, pero debido a la rápida difusión de la inseminación artificial (IA), la tasa de infección en los rebaños lecheros se vio drásticamente reducida. Debido al bajo uso de la IA en el ganado productor de carne, esta enfermedad todavía se mantiene presente aunque su importancia va en descenso con el uso de toros sanos. La vibriosis, recientemente llamada campilobacteriosis, es causada por la bacteria *Campylobacter fetus* subsp. *Veneralis*. Este organismo, llamado *Vibrio fetus*, fue aislado a principios de 1900 y diagnosticado como una importante causa de aborto en bovinos. La patogenia de esta enfermedad fue reconocida en 1950. Causa abortos alrededor del 6° mes de gestación y una drástica reducción de la fertilidad en rebaños, caracterizada por altos índices de retorno, siendo muchas veces con intervalos superiores al de un ciclo estral (retornos de más de 30 días).

En ambas enfermedades, el macho es un portador asintomático y la hembra sufre los efectos clínicos (inflamación genital, infertilidad y aborto). Machos jóvenes (3 a 4 años) son generalmente portadores transitorios, transmitiendo la enfermedad a las vacas sanas con apenas algunos días de exposición. El sistema inmunológico del toro no tiene un importante papel en la eliminación del agente que permanece en la superficie prepucial sin invadir el epitelio y, en consecuencia, sin producir una respuesta inmunológica. Por lo tanto la reinfección puede ocurrir en cualquier momento. Por ejemplo los toros con más de cinco años pueden permanecer como portadores crónicos, pues el organismo se conserva en las criptas del epitelio prepucial, que son más profundas que en los toros jóvenes. La infección ocurre cuando un macho infectado cubre a una vaca, se da entre toros a través de camas contaminadas, o cuando el equipo de IA está contaminado.

En la tricomoniasis puede ocurrir un escurrimiento vaginal después de algunas semanas de que haya habido contacto sexual. Esto se observa con más facilidad en ganado lechero. Ambas enfermedades causan un periodo de infertilidad transitoria, mortalidad embrionaria y aborto. En la tricomonosis

el aborto ocurre durante la primera mitad de la gestación, y en la campilobacteriosis, entre el 4º y 6º mes de gestación. Uno de los principales signos de esta enfermedad es la numerosa presencia de hembras vacías cuando se supone que deberían estar gestantes. En ambas enfermedades, la muerte del embrión o feto ocurre entre los 15 y 80 días de gestación. Como el reconocimiento materno de la gestación ocurre a los 15 días, generalmente hay un aumento del intervalo entre celos de las vacas, pues el cuerpo lúteo no se lisa normalmente a los 17 días, como cuando no ocurre la fertilización.

A diferencia del toro, la vaca es capaz de producir una respuesta inmunológica ante estos organismos, por lo cual es posible encontrar principalmente inmunoglobulinas de tipo IgA, IgG1 e IgM en las secreciones vaginales, cervicales y uterinas de vacas después de 7 a 12 semanas de la infección. En una primera infección, los agentes son naturalmente eliminados del aparato genital en 90 días. Por esta razón, en rebaños crónicamente infectados es muy difícil detectar la bacteria; solamente en las novillas es posible detectar la presencia de campilobacter y, por ende, sólo por medio de ellas se puede inferir que todo el hato está infectado.

14.3.2. Estrategias de control

El control de las enfermedades venéreas se basa en su diagnóstico. Bajos índices de fertilidad y retornos al celo con intervalos superiores a los 30 días son indicativos de la enfermedad; si hay un historial de introducción de animales en el rebaño, préstamos de toros, utilización comunitaria de los mismos o adquisición de toros ya usados en otros lados, puede indicar la presencia de la enfermedad en el hato. Para confirmar el diagnóstico se puede hacer un raspado prepucial (puede ser con pipeta de inseminación artificial) y enviar el material al laboratorio especializado para la identificación del agente en el esmegma. En casos de diagnóstico positivo, se recomienda la eliminación de los toros, ya que el tratamiento es económicamente cuestionable y su eficacia limitada. El uso de inseminación artificial es una herramienta importante en el control de estas enfermedades, así como la utilización de toros comprobadamente sanos.

14.4. CONCLUSIONES

El examen andrológico de toros tiende a estimar la fertilidad potencial e identificar anomalías físicas o genitales indeseables en un proceso selectivo en que la fertilidad tiene gran importancia. Entre tanto, la información que se obtenga a partir de este examen puede ayudar al veterinario a diagnosticar cada caso y orientar al criador sobre los casos que merecen atención y aquellos que deben ser eliminados.

14.5. LITERATURA RECOMENDADA

- Andersen, K. 1974. *Morphological abnormalities in the acrosome and nucleus of boar spermatozoa*. Nord Vet Med 26:215.
- Ashdow, R.R. Combs, M.A. 1967. *Spiral desviation of the bovine penis*. Vet Rec 80:738.
- Ashdow, R.R. 1962. *Persistence of the penile frenulum in young bulls*. Vet Rec 74:1464.
- Bane, A. 1970. *Sterility in male dogs*. Nord Vet Med 22:561.
- Bane, A., Hansen, H.J. 1962. *Spinal changes in bulls and their significance in serving ability*. Cornell Vet 52:362.
- Barth, A. D., y Oko, R.J. 1989. *Abnormal morphology of bovine spermatozoa*. Iowa State University Press, Ames, 285 p.
- Bergin, W.C., Gier, H.T., Marion, G.B., Coffman, J.R.A. 1970. *Developmental concept of equine cryptorchidism*. Biol Reprod 3:82.
- Blom, E. 1972. *A systematic search for abnormalities in testis-epididymis in pedigree bulls in Denmark*. Royal Veterinary and Agricultural University, Yearbook 1972, pp. 1-36.
- Bratton, R.W., Musgrave, S.D., Dunn, H.O., Foote, R.H., Herderson, C.R. 1956. *Semen production and fertility of young bulls on three different levels of feed intake*. J Anim Sci 15:1296.
- Carrol, E. J., Ball, L., y Scott, J. A. 1963. *Breeding soundness in bulls: A summary of 10,940 examinations*. J Am Vet Med Assoc 142:1105.
- Carson, R.L., Thompson, F.N. 1979. *Effects of an anabolic steroid on the reproductive tract in a young stallion*. J Equine Med Surg 3:221.
- Cavalieri, J., y Van Camp, S. D. 1997. *Bovine seminal vesiculitis. A Review and update*. Vet. Clin. North America. Food Anim Practice Bull Infertility 13, 233.
- Coulter, G.H., Foote, R.H. 1976. *Relationship of testicular weight to age and scrotal circumference of Holstein bulls*. J Dairy Sci 59, 730.
- Crowshaw, E.J., Brodey, R.S. 1960. *Failure of preputial closure in a dog*. J Am Vet Med Assoc 136:450.
- Cupps, P.T., y Briggs, J.R. 1965. *Changes in the epididymis associated with morphological changes in spermatozoa*. J Dairy Sci 48, 1241.
- Cupps, P.T. 1991. *Reproduction in domestic animals*. 4ª ed., Academic Press, Inc., San Diego, 670 p.
- Derivaux, J. 1967. *Fistopatología de la reproducción e inseminación artificial de los animales domésticos*. Editorial Acribia, Zaragoza, 416 p.
- Fraser, A.F. 1968. *Abnormal behavior in animals*. Editado por M.B. Fox W.B. Saunders, Co., Filadelfia.

15. DISTOCIA*

SANDRA ESTRADA

- 15.1. INTRODUCCIÓN
- 15.2. ABORDAJE, CASO CLÍNICO
- 15.3. PROCEDIMIENTOS
- 15.4. FACTORES QUE CAUSAN DISTOCIA
- 15.5. INCIDENCIA,
- 15.6. PREVENCIÓN
- 15.7. LITERATURA RECOMENDADA

15.1. INTRODUCCIÓN

Probablemente una de las primeras intervenciones que el hombre realizó con los animales fue la ayuda que les proporcionó en el momento del parto, al saber que las dificultades que se presentaban durante este proceso ponían en peligro la vida tanto de la madre como de la cría. En la actualidad, la distocia sigue siendo uno de los problemas más frecuentes a los que se enfrenta el médico veterinario en su práctica profesional.

El término *distocia* proviene del griego y significa "parto difícil". *Eutoxia* significa "parto fácil" o fisiológico; a diferencia de éste, la distocia ocurre cuando alguna de las etapas del parto, generalmente la primera o segunda, no progresa normalmente, ya sea porque se retrasa más de lo esperado o porque no se da del todo.

Dado que no existe una barrera clara y definitiva entre el parto normal y la distocia, es necesario controlar el progreso del parto y el tiempo de duración, para definir si aún está en el rango de lo normal o si se debe intervenir, por considerarse anormal.

Es de suma importancia, por lo tanto, tener un encargado de observar partos para realizar una pronta intervención de ser necesaria. Se deberán observar todas las etapas de cada parto con intervalos de tres horas, de una forma rápida y discreta para evitar pérdidas de los neonatos por intervenciones muy tardías.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Distocia", elaborado por Arturo Duchateau.

15.2. ABORDAJE, CASO CLÍNICO

Cada caso de distocia constituye un caso clínico que puede ser resuelto favorablemente si se siguen los procedimientos adecuados.

El clínico se enfrenta con el conocimiento de diferentes tipos de anomalías que pueden estar ocurriendo, y luego de una cuidadosa consideración de los hechos y de un exhaustivo y metódico examen clínico, hace el diagnóstico. Un correcto diagnóstico es la base del éxito en la práctica obstétrica.

Se debe iniciar realizando una anamnesis completa, que incluye la historia clínica como edad, número de partos, si es primípara e incidencias de otros partos, así como preguntar al encargado cuestiones como duración y curso de la gestación, momento en que inició la labor y su curso, y la calidad y cantidad de las contracciones. Es de suma importancia saber si ya hubo ruptura de las membranas fetales, tanto de la corioalantoidea (indicando el inicio de la segunda fase del parto) como de la amniótica, luego de la cual no deben pasar más de dos horas para intervenir y realizar una inspección detallada tanto del tracto reproductivo como del feto.

No se recomienda movilizar a la madre en pastoreo a una zona o cuadra designada para la maternidad, a no ser que se haya detectado algún problema, pues con el traslado de un lugar a otro frecuentemente se interrumpe la labor de parto por un tiempo. La aparición de partos distócicos aumenta con la estabulación previa al inicio del parto.

Siempre se debe saber con mucha exactitud qué tipo de manipulaciones se han hecho antes de la intervención veterinaria, pues la experiencia dicta que los daños causados tanto al canal del parto como al feto por personas bien intencionadas, pero sin experiencia, son muy frecuentes, y deben ser detectadas antes de intervenir para evitar cualquier complicación ulterior.

De ser necesaria una intervención, entonces sí se debe trasladar al animal, de ser posible, a un lugar limpio, seco y cómodo, con buen espacio, buena iluminación y acceso a agua potable; de ser posible se debe examinar a la vaca cuando aún está de pie, ya que en esta posición la presión abdominal es menor. No se recomienda poner anestesia epidural desde el inicio, pues de ser posible, las contracciones se utilizarán para completar la labor de parto. La desensibilización del canal del parto y del área perineal se reserva sólo para aquellos casos en que se requiera de moderadas a muchas manipulaciones fetales antes de lograr la extracción o la intervención quirúrgica.

Es de suma importancia mantener una higiene especial; muchos animales tienen problemas de infertilidad después de un parto distócico, probablemente debido a la introducción de bacterias en el útero luego de procedimientos

obstétricos inadecuados. Está demostrado que una asistencia obstétrica adecuada en casos de distocia, puede mejorar la fertilidad posterior de las vacas.

La cola debe amarrarse siempre al cuello, y la zona perineal debe lavarse y limpiarse cuidadosamente con jabón desinfectante y agua antes de cualquier inspección, ya que en algunos casos esta primera inspección es el único momento en que el útero es invadido. Los guantes de plástico pueden utilizarse para disminuir la contaminación y proteger al obstetra contra enfermedades infecciosas, pero en caso de manipulaciones extensas no son muy útiles, pues se rompen fácilmente, por lo que la mejor medida es mantener los brazos limpios y el lugar desinfectado.

Luego de lubricar los brazos, se debe examinar el canal del parto evaluando el grado de dilatación y el tamaño de la abertura pélvica, así como el grado de dilatación cervical y las estructuras en la región vestibular. Además, se debe inspeccionar detalladamente que no haya daños en el útero y el canal de parto, así como hemorragias o lesiones.

No se debe intentar la extracción sin la dilatación adecuada. De ser necesario, se procederá a provocar la dilatación manual; para esto, el operador procede a introducir ambas manos, muy bien lubricadas y con los dedos entrelazados, en la vulva y la vagina, rotándolos conforme se mueven hacia adelante y hacia atrás; también se pueden abrir las manos y los codos, expandiendo el canal al hacer presión constante contra las partes no dilatadas. Este procedimiento puede tomar hasta 20 minutos.

Al tener contacto con el feto, será necesario determinar si está vivo; para esto se deben evaluar sus reflejos. Existen varios métodos; algunos son: punzar una pata, ante cuya reacción deberá retirar el miembro; palpar la zona ocular para que responda con un parpadeo; palpar la zona bucal y la lengua para que reaccione con un movimiento de succión; introducir un dedo en el esfínter anal para que reaccione con una contracción. Ante el fallo de estos reflejos, deberá tratarse de auscultar o palpar el latido cardíaco o ver si el cordón umbilical tiene pulso antes de tomar una decisión final.

De inmediato se procede a diagnosticar lo más preciso posible la presentación, posición y postura del feto, y la presencia, en caso de que los haya, de cualquier anomalía congénita o más fetos.

Luego de completar el examen clínico y sabiendo claramente cuál es la situación tanto del feto como de la madre, se debe tomar una resolución de qué hacer; durante esta primera inspección se deberá decidir qué procedimiento obstetra seguir, el cual se definirá dependiendo de si el feto está vivo.

Las opciones más comunes para resolver una distocia en vacas son: mutación de una presentación, posición o postura anormal, extracción, fetotomía o cesárea.

En caso de fetos vivos, usualmente se decide por manipulaciones fetales, extracción forzada o cesárea, mientras que ante fetos muertos se pueden intentar todas las anteriores, o bien recurrir a la fetotomía, ya sea parcial o total.

La eutanasia se puede considerar cuando la vaca tiene poco valor, cuando los costos del tratamiento son altos o el pronóstico es malo.

15.3. PROCEDIMIENTOS

15.3.1. Manipulaciones obstétricas

15.3.1.1. Mutación

Son manipulaciones necesarias para resolver las fallas en la presentación, posición o postura del feto.

La posición del feto se refiere a la relación entre el dorso del feto y el cuadrante de la cavidad pélvica materna.

La postura fetal se refiere a la relación entre las extremidades fetales y el cuerpo fetal.

La presentación se refiere a la relación entre la espina dorsal del feto y la espina dorsal de la madre, y a la porción del feto presente o que está más cerca al canal del parto; las presentaciones pueden ser longitudinales craneales o caudales, o transversas dorsales o ventrales.

Para corregir las anomalías que presenta el feto al momento del parto se utilizan cuatro procedimientos.

15.3.1.2. Repulsión

Consiste en empujar al feto hacia la cavidad abdominal para crear espacio y así corregir una mala posición. Esta maniobra es difícil si la vaca se encuentra tirada en decúbito ventral o si las contracciones uterinas son muy intensas. En este caso la anestesia epidural será de mucha ayuda.

15.3.1.3. Rotación

Consiste en girar al feto sobre su eje longitudinal para colocarlo en una posición dorso-sacra. Esta operación es necesaria en casos de posición dorso-púbica o dorso-iliaca. Para lograrlo es muy importante lubricar al feto y el canal pélvico antes de hacer la rotación. La rotación se facilita si previamente se hace repulsión del feto, y es muy difícil si éste se encuentra encajado en el canal pélvico.

15.3.1.4. *Versión*

Se realiza en presentaciones anormales (transversales o verticales). La versión se hace al aplicar tracción en un extremo del feto y al mismo tiempo repulsión en el opuesto, hasta lograr que su presentación sea longitudinal anterior o posterior. Este procedimiento es difícil en especies grandes.

15.3.1.5. *Rectificación de extremidades*

Este punto se refiere a la corrección de posturas anormales, por lo común debidas a flexiones de los miembros, de la cabeza o del cuello. Es muy importante recordar que en estos casos la repulsión del feto hacia la cavidad abdominal facilitará mucho el procedimiento, ya que será muy difícil corregir una flexión de cualquier miembro dentro del canal pélvico. Para corregir una extremidad flexionada se deben usar tres principios:

1. Repulsión de la porción proximal del miembro.
2. Rotación lateral de la porción media.
3. Tracción de la porción distal.

La pezuña del miembro se debe proteger muy bien con la palma de la mano antes de realizar la extensión de éste, para no lesionar la pared uterina.

15.3.2. **Extracción forzada**

Se entiende por extracción forzada sacar al feto por el canal pélvico de la madre por medio de la aplicación de fuerza de tracción desde el exterior. Esta tracción forzada se recomienda en casos de inercia uterina, cuando el feto es relativamente grande o cuando se aplica anestesia epidural.

Para la extracción forzada del feto se deben tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

1. Las cadenas o sogas obstétricas deben colocarse abajo de la articulación del menudillo.
2. La tracción la deben efectuar dos o tres personas.
3. Durante la tracción, uno de los miembros siempre debe ir ligeramente más adelantado que el otro, para reducir el eje escapular o el pélvico, según el caso, y facilitar la salida del feto.
4. Proteger con las palmas de las manos los labios de la vulva y evitar así que se desgarre.
5. La tracción debe ser simultánea a las contracciones uterinas, en la presentación longitudinal anterior o posterior.

6. La dirección de la tracción debe ser paralela a la columna vertebral de la madre hasta que haya salido la cabeza del producto; en ese momento la dirección se modifica 45 grados hacia los miembros posteriores.
7. Al salir la cabeza es conveniente girar el feto 90°, es decir, a una posición dorso-iliaca y quitar rápidamente las flemas o membranas que tapen los ollares.
8. En la presentación longitudinal posterior primero se cruzan las patas para girar al feto 90°, a una posición dorso-iliaca, pues en esta forma el abdomen pasa más fácilmente por la pelvis.
9. Si el conducto obstétrico está seco, debe lubricarse.
10. Las cuerdas que se fijan a la mandíbula del feto deben servir únicamente para corregir la mala posición, pero nunca para ejercer tracción.

15.3.3. Fetotomía

Por lo general se realiza cuando la extracción no ha dado buen resultado, el producto ya está muerto o cuando el valor de la vaca y su producción láctea sean mucho mayores que los estimados para el feto.

Consiste en la sección y extracción del feto en fragmentos, y se efectúa en casos de estrechez pélvica materna, volumen excesivo del feto, monstruosidades y posiciones anormales. No se recomienda en casos de obstrucción del canal o cuando su tamaño se encuentra reducido, como por ejemplo en torsiones uterinas; tampoco se recomienda en casos de presentación transversa dorsal.

En esta intervención es muy útil la anestesia epidural, la cual suprime el dolor, las contracciones y la presión, permitiendo un trabajo en mejores condiciones. Existen pocos procedimientos en la obstetricia veterinaria donde el equipo y la experiencia son tan importantes como en la fetotomía.

La fetotomía se realiza con fetótomos de hilo metálico cortante (sierra de Liess) que se deslizan dentro de tubos conductores; estos fetótomos disminuyen bastante el peligro de lesionar las vías genitales.

La primera medida por realizar en la fetotomía es fijar en forma eficiente, con lazos o ganchos, todas las partes del feto que sean accesibles, en especial aquellas sobre las que se debe accionar el instrumento cortante y sobre las que habrá que hacer tracción.

En caso de fetos secos, se debe introducir en el canal genital un líquido lubricante, ya que es muy difícil trabajar en la cavidad pélvica sin éste. Se introduce el fetótomo pasando el asa cortadora alrededor de la zona de

sección. El fetótomo debe quedar sólidamente ajustado sobre el feto; el operador lo fija a un miembro o sobre la zona por seccionar.

La fetotomía es parcial cuando se limita a la sección y tracción de cualquier parte del feto, suficiente para que tenga lugar el parto, y es total cuando se realiza la sección completa del feto.

Es preferible realizar una fetotomía y no una cesárea cuando con un solo corte o con la amputación de un solo miembro se resuelve el problema distócico, y siempre se debe considerar la posibilidad de hacer una cesárea, y no una fetotomía total, para la solución del caso.

El cuidado posterior es, sin duda, menor en casos de fetotomía que en casos de cesárea. Con sólo introducir cuatro litros de agua tibia (42-45 °C) con algún desinfectante no irritante varias veces, extrayendo el agua hasta que salga limpia y administrando antibióticos en forma sistémica, se debe asegurar una pronta recuperación. En general, la fertilidad posterior y la producción de leche son mejores luego de una fetotomía que de una cesárea.

15.3.4. Operación cesárea en la vaca

Esta operación consiste en seccionar la pared abdominal y el útero para extraer al feto; se practica cuando no se ha podido extraer al feto con el uso de mutación, extracción forzada o cuando se quiere que el feto viva.

La operación se hace bajo anestesia epidural (5 a 6 cc de solución de xilocaína al 2%) y con anestesia infiltrada en el sitio de la incisión.

La incisión para la cesárea se practica en los siguientes sitios:

- A) *En el flanco.* Por lo común se realiza con el animal de pie. Se hace una incisión vertical de 25 a 30 cm del lado izquierdo del animal atrás de la última costilla y abajo de las apófisis transversas de las vértebras lumbares.
- B) *Inguinal, arriba de la ubre.* Se recomienda la incisión en este sitio cuando la vaca está imposibilitada para levantarse.
- C) *En la línea media.* Se realiza con el animal colocado en decúbito dorsal y la incisión se efectúa en la línea media, craneal a la glándula mamaria. Las desventajas de este método son la necesidad de anestesia total y la aparición de hernias, ya que se trata de una región en la que fácilmente se producen a consecuencia de la operación. El sitio de la incisión y el tipo de anestesia por usar deben escogerse de acuerdo con la ayuda disponible, la naturaleza de la distocia que se presenta, el tipo de vaca, la colocación del feto y, por último, la preferencia del operador.

15.4. FACTORES QUE CAUSAN DISTOCIA

La etiología de la distocia es multifactorial e incluye defectos de la madre, del feto o de ambos.

De ahí que se pueden dividir en causas maternas o fetales, sin olvidarnos que clínicamente raras veces tienen una derivación simple o única.

15.4.1. Causas maternas

Los defectos de la madre que impiden el parto, generalmente implican una pérdida en la capacidad de la fuerza expulsiva y anomalías del canal del parto.

15.4.1.1. *Inercia uterina primaria*

Se caracteriza por la incapacidad del miometrio de contraerse normalmente y llevar al feto al canal del parto. Entre las causas que más se relacionan con esta condición están: el estiramiento excesivo del útero debido a fetos múltiples o anormales, defectos en el miometrio que lo imposibilitan a contraerse, defectos hormonales, o bien hipocalcemias periparto. La hembra puede tener algunas contracciones abdominales débiles, pero no progresa o avanza a la segunda etapa del parto; al examinarla tiene el cérvix dilatado, sin feto en canal de parto; si el parto no se ha prolongado mucho, es posible encontrar las membranas aún intactas. Su corrección suele ser muy fácil, generalmente es suficiente una tracción suave.

15.4.1.2. *Inercia uterina secundaria*

Se debe al agotamiento del miometrio luego de un prolongado esfuerzo por expulsar al feto sin lograrlo. El tratamiento, por lo tanto, consistirá en corregir la causa que impide la expulsión y proceder a su extracción mediante el método más indicado. Las secuelas suelen ser la retención de placenta, la involución retardada y el prolapso uterino.

15.4.1.3. *Anormalidades del canal del parto*

El parto se puede ver afectado por problemas en la pelvis materna, como tamaño inadecuado, deformidades o exostosis; o también por la dilatación incompleta del cérvix, cistocele vaginal, neoplasmas de la vulva y vagina, vestigios embrionarios de los ductos de Müller (que persisten como bandas de tejido que van desde la pared dorsal hasta la pared ventral inmediatamente caudal al cérvix) o torsiones uterinas y estenosis de la vulva y vestíbulo,

debido a inmadurez de la madre o defectos de carácter hereditario en ciertas razas.

15.4.1.4. *Torsión uterina*

Es una de las causas maternas más comunes de distocia. Se da cuando el útero rota sobre su eje longitudinal, con torsión de la vagina anterior. Es una complicación que ocurre generalmente al final de la primera e inicios de la segunda etapa del parto; se cree que para que se dé la torsión se deben dar movimientos fetales desmesurados durante la primera etapa del parto como respuesta a las contracciones del miometrio. El peso excesivo del feto es un factor predisponente. Con una pronta atención y un buen tratamiento, el pronóstico es favorable, tanto para la madre como para el feto. Sin embargo, un retraso en la atención frecuentemente conlleva muertes fetales, pero la recuperación materna es por lo general buena.

15.4.2. Causas fetales

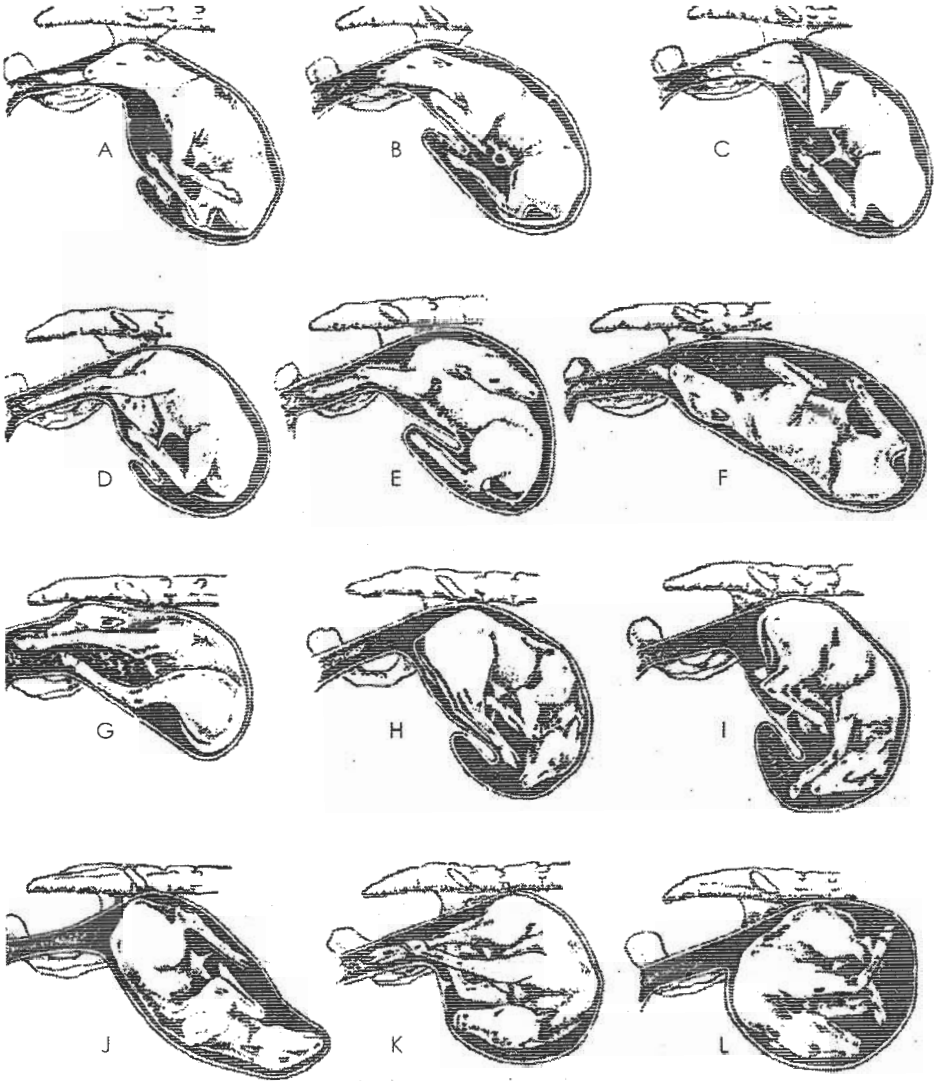
Más de 95% de los casos de distocia en cualquier especie quedan comprendidos dentro de este grupo. Se pueden dividir en dos grupos: aquellos en los que existen anomalías fetales, ya sea de disposición o por monstruos, y aquellos en los que el feto es excesivamente grande en relación con el tamaño de la pelvis materna (desproporción fetopélvica).

15.4.2.1. *Anormalidades en la posición y presentación fetal*

La presentación en un parto normal en vacas es longitudinal craneal, posición dorso-sacra con extensión de la cabeza, cuello y miembros anteriores. La presentación caudal se considera anormal; sin embargo, muchas veces es innecesario intervenir si los miembros posteriores están extendidos. Partos espontáneos con cualquier otra presentación, posición o postura son poco probables a menos que el feto sea muy pequeño y la pelvis de la madre suficientemente grande (figura 15.1).

15.4.2.2. *Monstruos fetales*

Existe una gran variedad de fetos anormales con defectos congénitos, que han sido descritos como causantes esporádicos de distocia en vacas, como *Schistosomus reflexus*, *Arthrogriposis*, *Perosomus elumbus*, músculo doble e hidrocefalia, gemelos asimétricos: *Holocardius acephalus*, *Amorphus globosus*, o bien gemelos unidos anteriores o posteriores, así como casos de momificaciones hemáticas y dropsias fetales.



Actitudes anormales

- A. Flexión de la articulación del hombro
- B. Flexión del carpo
- C. Desviación de un miembro sobre la nuca
- D. Flexión esternal de la cabeza
- E. Flexión lateral de la cabeza
- H. Flexión bilateral de la articulación de la cadera
- I. Flexión bilateral del tarso

Posiciones anormales

- F. Posición dorso-púbica con flexión del carpo
- J. Posición dorso-púbica con flexión bilateral del tarso

Presentaciones anormales

- G. Vertico-ventral
- K. Transverso-ventral
- L. Transverso-dorsal

Figura 15.1. Causas fetales de distocia. Anormalidades en la presentación, posición y actitud del feto. Adaptada de: *Diseases of cattle*. USDA, Special Report, 1942.

15.4.2.3. *Desproporción fetopélvica*

Es la causa más común de distocia en vacas y aún más en novillas; en éstas el feto puede tener un tamaño relativamente normal para la raza, pero la pelvis materna es muy pequeña, o bien puede ser que el feto sea inusualmente grande y, por lo tanto, no pueda ser expulsado a través del canal del parto.

15.5. INCIDENCIA

La incidencia de distocia varía según la raza y va de 2.1 a 12.2%; existen grandes diferencias entre hatos y, por lo general, la forma más común de distocia es la causada por fetos muy grandes o desproporción fetopélvica, de ahí que sea más común la distocia por causas fetales (85.5%), que por causas maternas (14.5%), y de éstas, la causada por torsión uterina es la más común.

La distocia es más frecuente entre primerizas, pues no han alcanzado la madurez, y en el ganado adulto es más frecuente en razas lecheras que en las productoras de carne; es más común entre las razas grandes como Holstein, Pardo Suizo y Hereford.

La incidencia aumenta cuando la preñez termina antes, debido a enfermedades uterinas, muerte fetal y gestaciones gemelares, o en aquellas en las que se prolonga la gestación, pues se da un aumento excesivo en el tamaño del feto.

Diversos estudios han comprobado que la principal causa asociada a la distocia es el peso al nacimiento; conforme éste aumenta, así lo hacen las distocias y la muerte neonatal. La situación se agrava si, además, el feto es macho, dado el mayor tamaño de éstos en algunas razas y, sobre todo, cuando se intentan cruces entre razas.

La mortalidad de neonatos debido a distocia está entre los rangos de 4 a 16%. Son la principal causa de pérdidas económicas durante las primeras 96 horas postparto, produciéndose la mayoría de estas muertes en las primeras 24 horas después del parto. Además, luego de un parto distócico se puede llegar a reducir hasta en 15% la tasa de concepción si se compara con vacas que no tuvieron problemas durante el parto; también puede ocurrir muerte materna y reducción en la producción láctea.

15.6. PREVENCIÓN

Si bien es imposible eliminar las distocias, se pueden reducir sus efectos mejorando el manejo y la forma de intervención en caso necesario.

Las novillas de reemplazo deben criarse y alimentarse correctamente; un manejo apropiado y una correcta nutrición durante el crecimiento serán de vital importancia si se quieren reducir las muertes perinatales y las distocias.

Al momento de ser servidas deben haber alcanzado 65% de su peso final esperado como adultas. Durante su primera gestación se deben suplir muy bien sus necesidades nutricionales, tanto de crecimiento como de mantenimiento, para que al momento del parto se encuentren con una buena condición corporal. Dado que las pruebas de progenie de diferentes asociaciones y centros de inseminación artificial han demostrado una alta heredabilidad en el peso al nacer, y una gran diferencia en la aparición de distocias entre diferentes grupos de progenitores, ésta puede ser parcialmente controlada con una rigurosa selección genética. Los toros que van a ser usados para preñar novillas deben ser seleccionados por estas características; se buscará utilizar aquellos toros que tengan una diferencia de progenie esperada negativa al peso al nacimiento, procurando con esto disminuir la incidencia de distocia.

Los intentos por reducir el crecimiento fetal restringiendo la ingesta de energía en la ración alimenticia de la madre durante el último trimestre de la gestación, no sólo no han logrado disminuir la incidencia de distocia, sino que han comprometido la subsecuente fertilidad de la madre.

15.7. LITERATURA RECOMENDADA

- Arthur, G.H. 1989. *Veterinary reproduction and obstetrics*, 6a. ed., Baillere and Tindall, Londres.
- Bierschwal, C.J., y deBois, C.H.W. 1982. *The Technique of Fetotomy in Large Animals*. VM Publishing Inc., Kansas.
- Morrow, D. 1986. *Current therapy in theriogenology*. 2a. ed., Saunders Company.
- Price, T.D. 1978. *Dystocia in cattle. A review and implications*. *Theriogenology* 9: 195.
- Roberts, S.J. 1971. *Veterinary obstetrics and genital diseases*. 2a. ed., Edwards Brothers, Michigan.
- Youngquist, R.S. 1997. *Current therapy in large animal. Theriogenology*. Saunders Company, Philadelphia.

16. ABORTOS*

JUAN JOSÉ ROMERO / ÓSCAR ORTIZ

- 16.1. INTRODUCCIÓN
- 16.2. PATOGENIA DE LOS ABORTOS
- 16.3. CAUSAS DE ABORTO MÁS COMUNES EN LOS ANIMALES DOMÉSTICOS
- 16.4. CRITERIOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE ABORTO
- 16.5. PREVENCIÓN Y CONTROL
- 16.6. LITERATURA RECOMENDADA

16.1. INTRODUCCIÓN

Para fines de evaluación clínica, el aborto se define como la pérdida de la gestación en cualquier momento luego de su diagnóstico positivo. Además, se considera que un feto nacido a término, pero que muere dentro de las primeras 24 horas de vida, es un caso de muerte fetal (denominación generalmente aceptada como mortinato y en la que también quedan incluidos aquellos fetos muertos durante un proceso de distocia). Sin embargo, estos fetos que llegaron a término no deben ser considerados en la contabilidad de eventos de pérdida de gestación o aborto.

Las tasas de aborto bovino a escala mundial pueden oscilar entre 5 y 30% del total de las gestaciones, aunque se han observado casos extremos de explotaciones bovinas especializadas en la producción intensiva de leche en las que el número de pérdidas de gestación es superior. En hatos bien manejados de California, Estados Unidos, se estima que cerca de 10% de las vacas confirmadas como gestantes abortan antes de los 260 días de gestación a pesar de intensos programas de vacunaciones.

El aborto no es una enfermedad específica, sino un signo clínico de diversas enfermedades que afectan al feto, a la placenta, al aparato reproductor de la madre, o que causan una enfermedad sistémica en la madre. El aborto es sin duda uno de los signos que más alarma causa entre los propietarios, ya que se ven afectados por la pérdida de material genético de reemplazo, disminución en la producción láctea, costos de tratamiento y pérdidas por aumento en la tasa de eliminación involuntaria. Además, en muchos casos la fertilidad subsiguiente del animal se ve afectada negati-

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Abortos", elaborado por Luis Zarco.

vamente. Se ha estimado que un aborto, especialmente si se verifica entre el segundo y tercer tercio de la gestación, puede representar pérdidas de entre 600 y 1000 dólares.

En casos de muerte embrionaria temprana (antes de los días 40-45 de gestación en el bovino), es posible que la muerte fetal no sea seguida de la expulsión del producto debido a que se presenta el fenómeno de reabsorción embrionaria intrauterina. En muchos casos, el aborto durante los primeros tres o cuatro meses de la gestación pasa desapercibido debido a que el feto es aún muy pequeño para ser observado en el campo.

Una alta proporción de la pérdida de embriones ocurre antes de que se haya realizado el diagnóstico de gestación. El ciclo estral tendrá una longitud normal si la muerte del embrión ocurrió durante los primeros 12 días postconcepción, pero se alargará si la muerte del embrión ocurrió después del día 13. En ambos casos, la muerte del embrión pasará desapercibida y muy probablemente el diagnóstico será de "infertilidad", por lo que la vaca sería candidata a ser clasificada como "vaca repetidora".

16.2. PATOGENIA DE LOS ABORTOS

Varias investigaciones cuantifican que aproximadamente el 70% de los abortos pueden estar relacionados con causas infecciosas, aunque solamente 65% de ellos (aproximadamente 50% del total) pueden estar asociados con algún agente infeccioso específico.

Los mecanismos por los cuales un agente infeccioso produce aborto son variados y dependen del tipo de organismo infectante, el órgano o tejido que ataca y/o la etapa de la gestación en la que produce su efecto. Muchas enfermedades sistémicas de la madre pueden resultar en aborto aun cuando los órganos reproductores no se vean directamente afectados; en estos casos el aborto puede suceder debido a una marcada elevación en la temperatura materna, la cual causa hipoxia, acidosis y muerte del feto. De la misma forma, las infecciones causadas por organismos gramnegativos, localizadas en cualquier órgano, pueden resultar en una endotoxemia capaz de producir el aborto debido a la capacidad que tienen las endotoxinas de inducir la síntesis de prostaglandina F₂ α en muchos tejidos. Además, las endotoxinas causan coagulación intravascular, interfiriendo con la circulación sanguínea a nivel de la placenta.

En el caso de infecciones que afectan directamente al feto o a la placenta, el organismo responsable debe llegar primero al útero gestante. Para lograrlo es posible que siga una de las siguientes rutas:

1. *Vía hemática.* Es la vía más común y adquiere mayor importancia hacia el final de la gestación. El organismo infectante puede entrar

al sistema materno a través del aparato digestivo (*Brucella abortus*, *Neospora caninum*, *Salmonella* sp., *Leptospira* spp., *Listeria* sp.) o de la mucosa nasal o conjuntiva (rinotraqueitis infecciosa bovina, leptospirosis, parainfluenza 3, diarrea viral bovina). En cualquier caso, existe siempre una bacteremia o viremia materna antes de que se produzca la invasión del útero, desde el cual el organismo infectante puede invadir la placenta y luego pasar al feto.

2. *Vía ascendente.* Esta vía de infección es más común en las fases tempranas de la gestación. Los organismos pueden entrar por la vagina (*Campylobacter* sp., *Trichomonas* sp., *Corynebacterium pyogenes*, *Ureaplasma* sp.), desde donde ascienden hacia el útero. Otra forma de ingreso por esta misma vía es mediante el depósito directo en el útero durante la cópula o la inseminación artificial.
3. *Vía descendente.* Es la ruta más rara y consiste en el descenso de una infección desde los oviductos hacia el útero; se puede observar en casos de peritonitis. No se ha demostrado que esta vía sea utilizada por los agentes causales de aborto, pero es probable que exista.

Una vez que el organismo infectante llega a la placenta, se encuentra con una variedad de condiciones que favorecen su establecimiento y desarrollo. Por ejemplo, la tensión de oxígeno en la placenta es baja y favorece el desarrollo de organismos anaeróbicos. Además, la placenta produce sustancias que estimulan el crecimiento de algunos organismos. Así, por ejemplo el erythritol, que se encuentra en grandes cantidades en la placenta y líquidos fetales, estimula la proliferación de *Brucella abortus*. Esta sustancia es un carbohidrato que la *Brucella* utiliza como fuente de energía. Esta sustancia también se encuentra en las vesículas seminales y en los testículos, lo que explica la preferencia de la bacteria por estos tejidos. Asimismo, el insuficiente desarrollo inmunológico del feto, y por ende de la placenta, contribuye también a facilitar el establecimiento de los organismos infectantes.

Una vez que el organismo infectante llega a la placenta y/o al feto, dependiendo de la virulencia del microorganismo se pueden presentar una variedad de condiciones. Si éste es de baja virulencia, y sólo causa una ligera inflamación de la placenta, es posible que el aborto no se produzca y se lleve a cabo un parto a término, aunque probablemente seguido por retención placentaria. Si el microorganismo tiene una virulencia intermedia, la inflamación de la placenta puede ser moderada, con focos de placentitis severa que irán extendiéndose lentamente. Este avance progresivo de la inflamación

interfiere con el funcionamiento normal de la placenta, lo que causa estrés en el feto sin llegar a matarlo. Como resultado del estrés, la hipófisis fetal libera ACTH, la cual inicia la cascada de eventos que desencadenan el parto y, como consecuencia, se produce la expulsión de feto prematuro muerto, o vivo pero inmaduro, con pocas posibilidades de sobrevivir.

Si el microorganismo tiene una virulencia elevada, puede matar al feto muy rápidamente, ya sea por los daños causados a la placenta o al feto mismo. En estos casos la muerte fetal se producirá antes de que se desencadene el mecanismo del parto, con la persistencia del cuerpo lúteo, por lo que muchas veces el feto morirá y permanecerá dentro del útero para convertirse en un feto momificado, macerado o enfisematoso. En algunos casos el feto será finalmente expulsado varios días después de su muerte, presentando un grado de autólisis avanzado indicativo de que la muerte ha ocurrido tiempo atrás.

La placentitis, que a menudo resulta de la infección del útero y placenta, puede causar hipoxia en el feto. En estos casos es común observar que el líquido amniótico está teñido con meconio; esto es el resultado de la baja oxigenación del intestino fetal, la cual causa que se incremente el peristaltismo y se relaje el esfínter anal, resultando en expulsión de meconio hacia la cavidad amniótica. Además, la hipoxia estimula el reflejo respiratorio del feto, el cual comienza a hacer movimientos inhalatorios, generando el ingreso de líquido amniótico hacia los pulmones, lo cual resulta en neumonía fetal. Al avanzar la hipoxia, el feto muere por asfixia, y en caso de sobrevivir hasta que se produzca el parto, es muy posible que muera en las primeras horas después del nacimiento debido a la neumonía desarrollada durante la vida fetal.

En los casos en que el microorganismo infectante invade al feto a partir de la placenta, dicha invasión puede seguir dos vías: 1) la circulatoria, a través del cordón umbilical, o 2) la oral, al tragar el feto líquido amniótico contaminado con el organismo infectante. Cuando la infección es por vía circulatoria, el primer órgano de choque va a ser el hígado, el cual puede sufrir necrosis (IBR), o hepatitis supurativa (*Listeria* sp. o *Campylobacter foetus*). Posteriormente, el agente infectante invade la circulación general del feto y puede lesionar otros órganos causando neumonía o afecciones renales u oculares.

Si el agente infectante llega al feto atravesando las membranas fetales para llegar a la cavidad amniótica, el contacto de la piel del feto con el líquido amniótico contaminado favorecerá el desarrollo de dermatitis. Además, el feto deglutirá líquido amniótico contaminado, lo que resultará en lesiones intestinales.

16.3. CAUSAS DE ABORTO MÁS COMUNES EN LOS ANIMALES DOMÉSTICOS

La descripción de cada una de las causas de aborto tomaría mucho más espacio del que es posible dedicar en este capítulo, por lo que sólo se listan las causas de aborto por tipo de agente etiológico y por especie animal. Para una revisión completa de enfermedades específicas se propone consultar las referencias listadas en la literatura recomendada.

16.3.1. Infecciosas

16.3.1.1. Bacterias

a) Bovinos

- Brucelosis: *Brucella abortus*
- Vibriosis: *Campylobacter foetus*
- Listeriosis: *Listeria monocytogenes*
- Ureaplasmosis: *Ureaplasma diversum*
- Tuberculosis: *Mycobacterium bovis*
- Leptospirosis: *Leptospira interrogans*
- Anaplasmosis: *A. marginale*

b) Suínos

- Brucelosis: *B. suis*
- Leptospirosis: *L. interrogans*
- Actinobacilosis: *Actinobacillus rossii*

c) Ovi-caprinos

- Vibriosis: *C. foetus*, *C. jejuni*
- Brucelosis: *B. melitensis*
- Salmonelosis: *Salmonella abortus ovis*
- Listeriosis: *L. monocytogenes*
- Leptospirosis: *L. Interrogans*

d) Equinos

- Salmonelosis: *S. abortus equi*
- Metritis contagiosa equina: *Taylorella equigenitalis*
- Estreptocosis: *Streptococcus zooepidemicus*, *S. equi*

e) Caninos

- Brucelosis: *B. canis*, *B. abortus*, *B. melitensis*.
- Salmonelosis: *Salmonella* spp.
- Campilobacteriosis: *Capylobacter* spp.
- Leptospirosis: *L. pomona*, *L. grippotyphosa*, *L. icterohe-morrhagiae*, *L. canicola*, *L. hardjo* (afectan a todas las especies)
- Endometritis y piómetras causadas por bacterias piógenas: *E. coli*, *Streptococcus* spp.
- Esporádicamente: *E. coli*, *Corynebacterium pyogenes*, *Pasteurella multocida*, *Streptococcus* spp., *Staphilococcus* spp., *Pseudomona aeruginosa* (en cualquier especie)

16.3.1.2. Virus

a) Bovinos

- Rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR)
- Diarrea viral bovina (DVB)
- Fiebre catarral maligna
- Parainfluenza 3
- Sincitial respiratorio bovino
- Fiebre aftosa

b) Suinos

- Parvovirus porcino
- Síndrome respiratorio y reproductivo del cerdo
- Cólera porcino
- Fiebre porcina africana
- Enfermedad de Aujeszky (pseudorrabia)

c) Ovi-caprinos

- Lengua azul (ovinos)

d) Equinos

- Rinoneumonitis equina
- Arteritis viral equina
- Anemia infecciosa equina

- e) Caninos y felinos
 - Moquillo canino (adenovirus)
 - Hepatitis canina (herpesvirus)
 - Panleucopenia felina

16.3.1.3. Protozoarios y otros agentes

- a) Bovinos
 - Tricomoniasis: *Trichomonas foetus*
 - Neosporosis: *Neospora caninum*
 - Toxoplasmosis: *T. gondii*
 - Babesiosis: *B. bovis*
- b) Suinos
 - SMEDI
 - Cólera porcino
 - Fiebre porcina africana
 - Enfermedad de Aujeszky
- c) Ovinos y caprinos
 - Neosporosis: *N. caninum*
 - Toxoplasmosis: *T. gondii*
 - Fiebre "Q": *Coxiella burnetti*
 - Aborto enzoótico ovino: *Chlamydia psittaci*
- d) Equinos
 - Babesiosis: *B. bovis*
 - Durina: *Trypanosoma equiperdum*
 - Rinoneumonitis equina
 - Arteritis viral equina
 - Anemia infecciosa equina
- f) Caninos y felinos
 - Toxoplasmosis *T. gondii*

16.3.1.4. Hongos

- Aspergilosis: *Aspergillus* spp. (afecta a todas las especies)
- Zigomicosis: *Rhizopus*, *Absidia*, *Mucor* (afectan a todas las especies)
- Candidiasis (equinos)

16.3.2. No infecciosas

- a) Pueden afectar a cualquier especie.
- *Hormonales*: *estrógenos*, *corticosteroides*, *prostaglandinas*.
 - *Tóxicas*: *nitratos*, *arsénico*, *naftalenos clorinados*, *dicumarol*, *fenotiazina*, *micotoxinas* y *envenenamiento por plantas como Veratrum californicum*.
 - *Nutricionales*: *desnutrición extrema*, *deficiencia de vitamina A*, *deficiencia de Iodo*, *deficiencia de vitamina E*, *selenio*.
 - *Físicas*: *inseminación de animales gestantes*, *traumatismos*, *fatiga por transporte*, *palpación rectal precoz mal realizada*.
 - *Genéticas*: *anormalidades cromosómicas*, *genes letales*.
 - *Causas diversas*: *gestaciones gemelares en equinos*, *tumores*, *reacciones anafilácticas*, *shock de calor*.

16.4. CRITERIOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE ABORTO

Al enfrentarse a la necesidad de diagnosticar la causa de un aborto o brote de abortos, es necesario tener presente que rara vez el porcentaje de casos en los cuales es posible llegar a un diagnóstico definitivo supera el 50-60%. Por esta razón, es indispensable dar un adecuado manejo del caso para maximizar las probabilidades de éxito en el diagnóstico. La presencia de un caso aislado de aborto rara vez justifica el gasto de tiempo y dinero que es necesario invertir en el intento de un diagnóstico acertado. Sin embargo, cuando el número de casos rebasa el índice de abortos considerado como normal (del 5 al 10% dependiendo de la especie), el diagnóstico de la posible causa adquiere gran importancia para el control del brote y, en tal caso, la eliminación o erradicación de la enfermedad.

Determinar la etiología del aborto es una tarea muy difícil. En diversos reportes, las infecciones bacterianas estuvieron presentes entre el 14 y el 16% de los casos, mientras que a los agentes virales correspondió del 5 al 10%. En estudios realizados a partir de la década de 1990, la infección por un *Neospora*

caninum fue detectada en aproximadamente la misma proporción que las infecciones bacterianas (17%). Sin embargo, a nivel internacional los diagnósticos positivos por neosporosis se han incrementado sustancialmente; en la actualidad es la causa diagnosticada de origen infeccioso más importante de abortos.

Existen dificultades de muy diversa naturaleza para el correcto diagnóstico del aborto bovino, entre las que destacan la contaminación de las muestras y las inmunizaciones previas, que dificultan las interpretaciones serológicas. Además, es probable que los fetos y las muestras de suero enviadas al laboratorio no representen a la población que se encuentra abortando y no permitan establecer la diferencia con respecto a aquellos animales o hatos sin problemas de abortos. Debido al pobre éxito en la identificación de los agentes causantes de abortos, se han usado métodos epidemiológicos para poder dar seguimiento a estos problemas. Con la ayuda de un sistema de monitoreo, es posible comparar las tasas de aborto entre hatos, o bien dentro del mismo hato para diferentes años. Además, es posible revelar y cuantificar la ocurrencia de abortos, y el momento en que ocurren mediante el uso de las fechas de servicio y los diagnósticos del médico veterinario. Así, por ejemplo, si existe un diagnóstico positivo de gestación por parte del veterinario, y en un examen posterior la vaca es diagnosticada vacía, el sistema registrará un aborto aunque no haya sido posible observar al feto o signos del aborto en el campo, y quedará indicado el momento más aproximado a la fecha real del aborto, como se puede observar en el cuadro 16.1. Conocer el momento en que se verifica el aborto o tener una fecha aproximada muy confiable, puede dar algunas luces de las posibles causas del aborto. De una manera más compleja, pero de la cual se recopila mayor información, se pueden realizar estudios de caso-control aplicados retrospectivamente o estudios de cohorte (prospectivamente) para investigar algunas características animales o medioambientales asociadas (factores de riesgo) al aborto.

Las muestras de suero de vacas que abortaron son frecuentemente enviadas a laboratorios de diagnóstico como parte del intento por establecer un diagnóstico clínico. Sin embargo, se ha demostrado que el diagnóstico serológico es difícil debido a la presencia de anticuerpos inducidos por vacunas, incapacidad en la obtención de muestras en una fase aguda, o la falta de controles para su comparación.

La historia clínica individual es importante para el diagnóstico, pero igualmente importante es la historia clínica a nivel del hato; factores tales como incidencia de abortos, repetición de celos, celos irregulares, cambios en el índice de concepción, edad o número de pariciones de las hembras afectadas, pueden ser de gran utilidad en la orientación del diagnóstico. Para

llevar a cabo esta parte del diagnóstico en forma apropiada, es importante contar con registros confiables de todos los aspectos reproductivos, nutricionales y de enfermedades que afectan al hato. Es necesario recordar que existen múltiples factores que afectan la reproducción de una hembra, por lo que la recolección de la mayor cantidad de información pertinente es lo más aconsejable. En este aspecto, la introducción de los sistemas de información por computadora son de gran ayuda, por la forma en que manejan los datos y por la posibilidad de brindar una retroalimentación rápida y oportuna con el usuario.

Cuadro 16.1. Descripción de las principales enfermedades causantes de aborto en los bovinos. Los signos clínicos corresponden a los efectos sobre el sistema reproductor

ENFERMEDAD	SIGNOS CLÍNICOS	EDAD AL ABORTO O PÉRDIDA FETAL	LESIONES EN PLACENTA O FETO	PRUEBAS DIAGNÓSTICAS	MUESTRAS
IBR	Tormenta de abortos. No hay signos en las vacas	Cualquier edad.	Feto autolizado. Ninguna lesión. Edema en placenta	Aislamiento viral de anticuerpos. Inmunohistoquímica. Histopatología. Serología a la madre	Feto Pulmón, Riñón Sangre
VDVB	Ningún aborto. Nacidos débiles	Primeros dos tercios de gestación. Persistentemente infectados	Fallo cardíaco congestivo. Momias. Deformidades. Ninguna lesión	Aislamiento viral de anticuerpos. Inmunohistoquímica. Histopatología. Patología, serología a la madre	Feto Pulmón Riñón Bazo Sangre
Leptospirosis	Infertilidad. Abortos. Tormentas de abortos. Agalactia Mastitis	Cualquier edad	Feto autolizado sin lesiones evidentes	Anticuerpos fluorescentes. Serología de la madre	Riñón Sangre
Brucelosis	Tormentas de abortos. Retención de membranas fetales	3 ^{er} trimestre de gestación	Colledonitis. Placenta manchada con exudado superficial. Fetos frescos	Aislamiento bacteriano. Serología. Histopatología	Feto Sangre
Neosporosis	Tormenta de abortos. No hay signos en vacas	Dos tercios de gestación	Fetos autolizados sin lesiones evidentes	Inmunohistoquímica. Histopatología. Serología a la madre	Feto Pulmón Riñón Corazón Bazo Sangre

Fuente: *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 1993 9:343.

Existen tercios de la gestación durante los cuales puede observarse predisposición por alguno de los agentes etiológicos para ocasionar abortos. Éstos pueden ser descritos en el estudio por cada uno de los agentes etiológicos que se mencionaron anteriormente. A manera de ejemplo podemos citar dos enfermedades: 1) Brucelosis, la cual se presenta con más alta frecuencia en el último tercio; y 2) Neosporosis, que se da en la segunda mitad del primer tercio y en el segundo tercio cuando existe mayor riesgo de muerte fetal.

Muchas enfermedades que causan abortos presentan, además, otros signos a nivel del aparato reproductor, los que pueden ayudar a diferenciar entre enfermedades parecidas. Como ejemplo de algunos signos característicos de enfermedades específicas mencionaremos la presencia de piómetra postservicio y fetos macerados son muy típicos (figura 16.1) en las tricomoniasis, elevado índice de retenciones placentarias en brucelosis bovina, el incremento en el número de servicios por concepción (infertilidad) en vibriosis y el alto número de abortos en hatos susceptibles y las momificaciones por IBR y neospora.



Figura 16.1. Vestigios de tejido óseo en un feto macerado de bovino

En ocasiones, la enfermedad que está causando abortos en las hembras causa signos clínicos característicos en el macho, como en el caso de la vesiculitis y epididimitis causadas por *Brucella* spp. Además, muchas enfermedades infecciosas que causan aborto presentan además signos clínicos definidos que no tienen relación con la reproducción, pero que pueden ayudar en el diagnóstico de la enfermedad como por ejemplo IBR, lengua azul, babesiosis. Para el diagnóstico a nivel de laboratorio, es necesario recordar que el aborto puede deberse a causas que afectan a la madre, a la placenta, al feto, o a una combinación de ellas, por lo que los materiales que se envían al laboratorio deben incluir muestras de material biológico materno (suero, moco vaginal o cervical), placentario (cotiledones, líquido amniótico) y fetal (líquido abomasal, pulmones, hígado). Entre los errores cometidos más frecuentemente por el clínico están el no dar importancia a la obtención de muestras de la madre, así como la obtención de material placentario a

partir de la porción de la placenta que queda colgando por la vulva, porción que a menudo está contaminada con materia fecal.

Antes de enviar las muestras al laboratorio, es importante examinar detalladamente al feto y la placenta. En el feto se deberá determinar la edad aproximada, ya que varias enfermedades causan abortos en periodos específicos de la gestación; también se deberá determinar si el feto muestra signos de haber muerto tiempo antes de ser abortado (autólisis, pigmentación). Se deberá revisar al feto en busca de lesiones específicas, como las indicadas en el cuadro 16.1.

En el caso de las placentas se deberá hacer una descripción de su condición: si están frescas, descompuestas, retenidas o hemorrágicas. Se examinará el tamaño y peso de la placenta, tamaño de los cotiledones y otros factores que puedan indicar si la placenta estaba teniendo una función normal o insuficiente.

Por la naturaleza misma del problema es común que el aborto se detecte varias horas o días después de su ocurrencia, por lo que el feto y las placentas pueden encontrarse en un estado avanzado de autólisis o putrefacción, siendo inutilizables para el diagnóstico de laboratorio. Por esta razón es importante la utilización de pruebas de diagnóstico que se aplican a nivel de hato, no necesariamente en los animales que han abortado, y que pueden indicar la presencia de una enfermedad en el hato que podría explicar los casos de aborto que se hayan presentado. Como ejemplo tenemos la prueba del anillo en leche para brucelosis, el aislamiento de *Campylobacter foetus* en machos bovinos o la prueba de la becerria virgen para *Tricomoniiasis*.

En la actualidad, se le concede mucha importancia a las pruebas serológicas para el diagnóstico de posibles causas de aborto. Hay que recordar que el hecho de que una hembra resulte serológicamente positiva a una prueba no es indicativo de que abortó por ese agente. Será necesario, entonces, realizar un detallado examen clínico del animal individual, pero más aún, del hato completo. Las historias de vacunaciones, rachas de abortos, momificaciones, introducción de machos nuevos en el hato, así como la serología y la patología, conforman una fuerza diagnóstica altamente efectiva.

16.5. PREVENCIÓN Y CONTROL

De todos los animales domésticos, es quizá en los bovinos, debido a la enorme importancia económica que representa el aborto en la industria lechera o de la carne, en los que más se han desarrollado protocolos de prevención, control y erradicación de enfermedades infecciosas que inducen al aborto en los sistemas de producción especializados. En tales programas, el uso de vacunas contra los principales agentes infecciosos virales, bacterianos y hasta

protozoarios, es cada vez más común en los sistemas de producción bovina a nivel mundial.

Los resultados de las vacunas disponibles en el mercado contra los agentes virales han sido notables. De igual manera, las vacunas contra la brucelosis han demostrado su eficacia en prevenir las infecciones. Esta característica ha hecho que varios países hayan lanzado campañas de erradicación de la brucelosis a nivel nacional. En este sentido, la aparición de la vacuna RB51 contra *Brucella abortus*, que estimula el sistema inmunológico celular (el cual es el implicado en la prevención de la infección con *B. abortus*) por encima del sistema humoral, ha tomado auge, pues permite la identificación de animales infectados con cepas de campo.

El uso de vacunas no sólo debe estar orientado a prevenir las infecciones en explotaciones dictaminadas como libres, sino también a controlar o erradicar las nuevas infecciones en las explotaciones que ya padecen de los agentes infecciosos. Es así como el primer gran paso para establecer programas de prevención y control, es el diagnóstico de los agentes presentes en el hato o en los hatos vecinos. No siempre es recomendable el uso de vacunas para enfermedades exóticas que no ocurran en el hato, ni en los hatos circunvecinos y el grado de problemas que causan. Existen enfermedades, como la brucelosis, que aunque se cuente con una explotación dictaminada como libre, es conveniente mantener un programa preventivo de vacunación para procurar un sistema preventivo capaz de lograr buenos niveles de protección.

En vista de que los agentes infecciosos no son responsables de la totalidad de los abortos, y de que múltiples factores de manejo pueden inducir el aborto en los animales, es necesario tener programas de manejo altamente especializado, tanto a nivel nutricional como de control de las condiciones ambientales en las que se desenvuelven los animales. Es bien conocido el efecto del estrés, del tipo que sea, sobre la fertilidad de los animales, sea en la gametogénesis, en los procesos de fecundación e implantación, e incluso induciendo el aborto. Asimismo, desbalances nutricionales fuertes (energéticos principalmente), especialmente cerca del pico de la lactancia, pueden inducir a estados de estrés y de susceptibilidad de la vaca a sufrir un aborto sin que medie un agente infeccioso, o por medio del efecto de un agente infeccioso que se aprovecha del estado de inmunosupresión de la hembra aunque sea en muy bajos niveles.

En otras especies de animales domésticos, diferentes a los bovinos, se hacen apenas los primeros intentos por conocer más de la biología de los agentes involucrados en los abortos. Es por esto que el desarrollo de vacunas altamente eficaces no es todavía una realidad.

Generalmente para el ganado bovino, los programas de vacunación para la prevención de abortos incluyen:

- a) **Brucelosis:** bacterina de cepa RB-51 para aplicar a hembras a la edad de 3-5 meses y con posibilidades de revacunación por la no interferencia en el diagnóstico.
- b) **Leptospirosis:** bacterina que se aplica por lo menos en forma semestral. En ocasiones viene acompañada en presentaciones comerciales junto con IBR, BVD, PI-3 y BRSV.
- c) **IBR:** vacuna que se aplica al ganado bovino en forma anual en la etapa adulta en presentaciones de virus vivo modificado y virus muerto. Actualmente se está implementando en forma indistinta el virus vivo modificado en animales vacíos o gestantes.
- d) **BVD:** vacuna que tiene el mismo manejo que la de IBR, ya que generalmente viene en la misma presentación comercial.
- e) **Neosporosis:** biológico elaborado a base de unidades muertas de taquizoitos de *Neospora caninum* y que está tomando alguna importancia en los programas preventivos contra esta enfermedad. Se aplica a animales gestantes durante el primer tercio de la gestación.

Como se ha discutido en este capítulo, los abortos en los sistemas de producción animal revisten una innegable importancia por las enormes pérdidas que pueden traer consigo. Las causas de este padecimiento pueden ser múltiples, por lo que el médico veterinario debe contar con todas las armas disponibles para llegar a un diagnóstico acertado, tanto de las causas como de los efectos de este problema. Para el profesional de hoy, los sistemas de información y las pruebas diagnósticas de laboratorio, junto con el conocimiento, la pericia y la experiencia, son herramientas imprescindibles para lograr tales diagnósticos. Debido al cambio constante en la biología de los abortos, y al descubrimiento de nuevos factores involucrados, el médico veterinario requiere de mantenerse actualizado por medio de información confiable y certera que le permita orientar a los dueños de los animales y les ayude a tomar las decisiones acertadas y oportunas respecto a este padecimiento.

16.6. LITERATURA RECOMENDADA

Anderson, M.L., Blanchard, P.C., Barr, B.C., & Hoffman, R.L. 1990. *A survey of causes of bovine abortion occurring in the San Joaquin Valley, California*. J Vet Diagn Invest. 2:283.

17. ALTERACIONES DEL APARATO GENITAL DE LA HEMBRA

HENRY GRAJALES / JAVIER VALENCIA

- 17.1. INTRODUCCIÓN
- 17.2. ETIOLOGÍA DE LAS ANORMALIDADES DEL APARATO GENITAL
- 17.3. ALTERACIONES DEL OVARIO
- 17.4. ALTERACIONES DEL OVIDUCTO
- 17.5. ALTERACIONES CONGÉNITAS QUE AFECTAN DIVERSAS PARTES DEL APARATO GENITAL
- 17.6. ALTERACIONES DEL ÚTERO
- 17.7. ALTERACIONES DEL CÉRVIX
- 17.8. ALTERACIONES DE LA VAGINA Y LA VULVA
- 17.9. LITERATURA RECOMENDADA

17.1. INTRODUCCIÓN

Cuando se analiza el fenómeno de la reproducción se consideran las funciones del sistema *per se* en todas sus interacciones: sistema nervioso central, hipotálamo, glándula pituitaria, gónadas, órganos destinatarios; al no obtenerse la coordinación adecuada entre éstos o al fallar la funcionalidad en algún punto de esta cadena de acontecimientos, se presentan situaciones de infertilidad o esterilidad que afectan las características de presentación o manifestación de los eventos fisiológicos reproductivos.

La infertilidad es la incapacidad temporal para reproducirse, y la esterilidad es la pérdida total de la capacidad reproductiva; ambas situaciones pueden llegar a ser una consecuencia de alteraciones del aparato genital de la hembra, lo que a final de cuentas deriva en enormes pérdidas económicas en las explotaciones pecuarias.

En la vaca, la frecuencia de las afecciones del aparato reproductor varía entre 4 y 15%, cifras que corresponden a estudios realizados por varios investigadores que utilizaron especímenes *post mortem*, así como también por medio del examen clínico del ganado.

La importancia de conocer los trastornos de los órganos genitales de la hembra radica en la necesidad de realizar un diagnóstico oportuno que permita implementar los correctivos adecuados o, si es el caso, recomendar la

eliminación de los animales improproductivos, de tal manera que no se afecte la rentabilidad de la empresa pecuaria.

17.2. ETIOLOGÍA DE LAS ANORMALIDADES DEL APARATO GENITAL

17.2.1. Alteraciones de origen genético

Estudios cromosómicos recientes han demostrado la existencia de anomalías graves de origen genético, asociadas con defectos fenotípicos, incluyendo los del aparato reproductor. Sin embargo, es muy difícil determinar si la causa es en realidad genética, debido a que el efecto de determinados genes puede modificarse por la influencia del ambiente, o por otros genes en el genoma, teniendo como resultado que la manifestación del efecto puede variar tanto en su grado de expresión como en la frecuencia con que ocurre.

Los procesos fisiológicos, como el rendimiento reproductivo, se hallan influidos por un gran número de genes, cada uno de los cuales tiene un pequeño efecto, siendo en tal caso más conveniente pensar en términos de que el porcentaje de la variabilidad total observada en un carácter se halla influida por una porción genética aditiva.

En el aparato genital las variaciones en la expresión y penetración pueden ocurrir entre animales o individualmente, pero también entre los dos lados del mismo animal e incluso entre las células germinales de una sola gónada. La alteración puede manifestarse en los animales de un solo sexo, o la manifestación de un efecto puede surgir cuando más de un par de cromosomas están involucrados y cuando diferentes sistemas genéticos producen efectos similares.

La influencia del ambiente puede imitar el efecto de determinados genes y originar fenotipias no genéticas. También puede conducir a enfermedades totalmente independientes del genotipo o reflejar predisposición a una enfermedad.

Varios microorganismos patógenos, en especial algunos virus, pueden transmitirse a la descendencia y causar patrones de enfermedad semejantes a aquellos producidos por sistemas genéticos. Además, algunos de los defectos genéticos pueden ser no hereditarios y surgir *de novo* por mutación, por una fertilización anormal o por quimerismo.

Por estas complicaciones a veces se dificulta establecer una etiología genética de la alteración. En los animales domésticos, y sobre todo en las grandes especies, las pruebas necesarias para confirmar un diagnóstico presuncional son difíciles de llevar a cabo, debido al tiempo y al costo que representan.

17.2.2. Alteraciones congénitas

Otro tipo de alteraciones son de origen *congénito*, es decir, el individuo ya las presenta al momento del nacimiento y pueden ser *hereditarias*, como los hermafroditas, o adquiridas, como el pseudohermafrodita femenino. Por lo menos se han identificado 25 defectos estructurales hereditarios por los cuales los terneros nacen muertos o mueren inmediatamente después del nacimiento.

Diversos estudios han revisado el problema de los factores hereditarios que afectan al rendimiento reproductor del ganado vacuno, habiéndose calculado que alrededor de 10% de la esterilidad es hereditaria; ejemplo de ello es la salpingólisis o fibrinólisis.

Las alteraciones en el material genético de un organismo pueden afectar a un gen (malformaciones congénitas de origen genético o puntual), a varios genes (malformaciones congénitas poligénicas) o a los cromosomas (malformaciones congénitas de origen cromosómico). Casos tan frecuentes como la interrupción de la gestación o la presentación de abortos pueden ser causados por alteraciones en el desarrollo de los animales domésticos asociadas con anomalías congénitas. Existen casos donde el embrión queda retenido en el útero por periodos más o menos largos, pudiendo ocurrir que el feto y sus envolturas adquieran consistencia dura, conformando una estructura denominada litopedion, o de aspecto laminar: feto papiráceo.

Bajo tales circunstancias se deben resolver dos problemas principales en el terreno de las alteraciones congénitas. El primero es determinar o diagnosticar si el problema presente en un neonato se debe o no a la transmisión de genes, y el segundo es lograr seleccionar a los progenitores para reducir la frecuencia genética de la anomalía. Cuando se examina una serie de casos de alteraciones congénitas que son bastante semejantes, como para sugerir que tienen la misma causa, no es sencillo determinar en qué momento se hace evidente que dicha alteración es hereditaria, o al menos aseverarlo con exactitud. Muchas alteraciones congénitas se pueden deber a agentes ambientales y ser semejantes o idénticas a anomalías hereditarias.

Los genes condicionan la estructura y función de los organismos en diferentes formas, por lo que se deberá analizar si la alteración es estructural, observándose deformidades congénitas; o si la alteración es funcional, en donde una o más funciones orgánicas se alteran, aunque no se observen o detecten inicialmente alteraciones morfológicas.

Formas menos "simples" que las anteriores implican los casos donde se presenta susceptibilidad a padecer determinadas alteraciones; así, en la raza de caballos árabes, los potros pueden morir al contraer una neumonía viral, pero la causa real de la muerte es una inmunodeficiencia heredada.

Rasgos indicadores de alteraciones hereditarias o congénitas:

1. Aumento gradual de la cantidad de casos en un periodo de años, suponiendo que se conservan los reproductores o sus descendientes.
2. Aparición súbita de un nuevo padecimiento que acompaña a la introducción de un nuevo reproductor.
3. Nivel de parentesco en el grupo de animales. Los animales pertenecientes a una población emparentada son más propensos a presentar anomalías hereditarias.
4. Los animales pura sangre son los más frecuentemente afectados, ya que su genoma es más estandarizado. Por ejemplo, en la raza Hereford se seleccionaron animales de cuernos cortos y se dio lugar a enanismo.
5. Identidad del defecto en varios animales. Aunque puede haber variación en la gravedad de la lesión, las mismas lesiones deben estar presentes en todos los casos. Se presenta siempre mayor variación cuando los defectos son por causas ambientales.

17.2.3. Predisposición hereditaria y modificaciones genéticas

En ciertas alteraciones puede existir predisposición hereditaria, que se manifiesta en algún momento de la vida del animal, como los quistes foliculares del ganado bovino. Se ha encontrado que la tendencia para la presencia de folículos quísticos en los ovarios es heredable en 43%, ayudando a disminuir su incidencia de forma importante mediante la selección de reemplazos provenientes de hembras que no tengan ningún antecedente de este tipo de problemas.

Las modificaciones estructurales dan lugar a anomalías que pueden producirse durante los movimientos y cambios que sufren los cromosomas durante la meiosis, en donde puede ocurrir la ruptura y pérdida de una porción del cromosoma, denominada "deleción", alteración que consiste en la eliminación de segmentos más o menos grandes de un cromosoma; puede ocurrir también que se duplique un segmento de un cromosoma y, por consiguiente, exista duplicación de los genes que contiene, o se puede invertir un segmento, alterando el orden de los nucleótidos.

A los agentes productores de mutaciones que se ubican u originan en el ambiente externo al embrión, se les denomina agentes teratogénicos ambientales, y presentan las siguientes características:

- Afectan al embrión directamente, o a través de modificaciones en la madre o en la placenta.
- Pueden atravesar la barrera placentaria y actúan directamente sobre el embrión.

- Alteración de la circulación placentaria, provocando trastornos fetales sin necesidad de ingresar en el cuerpo del organismo en desarrollo.
- Afectan al embrión mediante la generación de alteraciones en el metabolismo de la madre.

Algunas malformaciones congénitas visibles exteriormente o que provocan alteraciones funcionales serias, se detectan al nacimiento. Muchas otras se diagnostican durante los periodos posteriores.

Los agentes teratogénicos ambientales pueden producir fenocopias, es decir, anomalías congénitas idénticas a las originadas por genes anormales.

La exposición a sustancias tóxicas como el selenio, la toxina tetánica y las sulfonamidas (antibióticos), produce aumento de anomalías congénitas. Existen vegetales que, al ser consumidos por hembras gestantes, producen anomalías. Por ejemplo, el *Veratrum californicum* produce malformaciones craneales y cerebrales. En bovinos se han observado crías nacidas con deformidades de la columna vertebral y de las articulaciones del carpo y del tarso como consecuencia del consumo de cicuta (*Conium maculatum*) por parte de sus madres entre los días 55 y 75 de gestación.

Los virus pueden incorporar su información genética, determinando la síntesis intracelular de proteínas que conduce a una alteración del metabolismo. Un requisito para que los embriones resulten afectados por los virus es que en la madre se produzca una "viremia", es decir, una generalización de la infección por virus. Existen casos donde los virus no provocan alteraciones en la madre y, sin embargo, afectan gravemente al embrión. La determinación del origen viral de una alteración en los embriones puede hacerse únicamente mediante aislamiento del virus de los tejidos embrionarios o por medio de estudios serológicos.

La nutrición materna tiene un importante efecto sobre el desarrollo prenatal y puede llegar a producir defectos en la estructura genital en vacas, cerdos, ratas y conejos. Muchas alteraciones en el desarrollo se encuadran dentro de las denominadas "malformaciones de causa multifactorial". Esta denominación indica que no es un único gen o un cromosoma alterados los responsables de su aparición, sino la acción conjunta de varios genes diferentes sobre los que actúan factores ambientales desencadenantes.

17.2.4. Alteraciones adquiridas

En este grupo se incluyen las que se presentan durante la vida del individuo a causa de diversos factores; como ejemplos se encuentran los traumatismos, rupturas, desgarros, abscesos, adherencias, inflamaciones e infecciones.

17.3. ALTERACIONES DEL OVARIO

17.3.1. Fallas en la formación y el número de ovarios

La ausencia de ovarios o *agenesia ovárica*, así como los *ovarios supernumerarios* y los *ovarios accesorios*, han sido descritos en varias especies animales; sin embargo, se trata de casos muy raros.

17.3.2. Hipoplasia ovárica

El origen etiológico de esta alteración se debe a la presencia de un gen recesivo autosomal de penetración incompleta. La alteración puede encontrarse en todas las especies domésticas, pero principalmente en la vaca. En la hipoplasia, la gónada nunca alcanza su completo desarrollo; este defecto es hereditario y puede manifestarse unilateral o bilateralmente. Los animales con hipoplasia unilateral presentan ciclos normales, pero deben descartarse de cualquier programa como reproductores.

Cuando ambos ovarios están afectados, el útero, la vulva y la glándula mamaria permanecen en estado juvenil (figura 17.1). Los ovarios hipoplásicos son pequeños, fusiformes, con arrugas en su superficie; contienen tejido

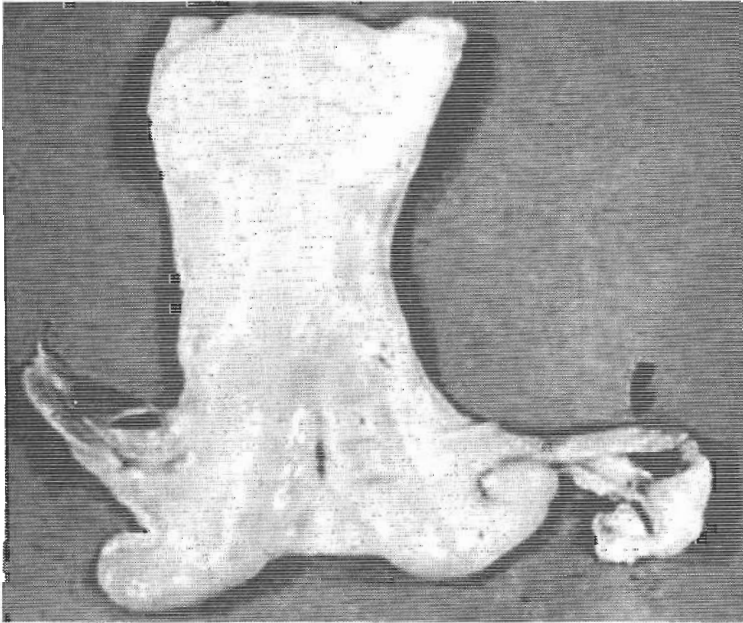


Figura 17.1. Hipoplasia ovárica bilateral en una becerria. Los ovarios son fusiformes y con arrugas longitudinales, y el útero permanece en estado juvenil

medular, pero hay ausencia de folículos. El fenotipo es penetración incompleta; en Rumania se menciona que la hipoplasia ovárica está ligada al color blanco de un animal grande, desarrollado, con extremidades largas, cadera estrecha y pezones pequeños. Como consecuencia, la hembra no presenta ciclos estrales, no desarrolla los caracteres sexuales secundarios y es estéril.

En Suecia, la hipoplasia gonadal llegó a afectar a 17.5% del ganado Swedish Highland y se determinó que era causada por un gen recesivo. Estos ejemplos son algunos de los casos reportados en la literatura, siendo muy posible que existan más genes recesivos que no han sido todavía identificados.

En 1065 vacas con hipoplasia, revisadas *post mortem*, se encontró que el ovario izquierdo era el afectado con mayor frecuencia. Mediante la eliminación de los animales con hipoplasia, y principalmente de los toros que transmitían este defecto, fue posible erradicar el problema.

Se han observado casos en los que la hipoplasia es parcial y sólo una parte del ovario está afectada, ocasionando diversos grados de infertilidad. En México, la hipoplasia ovárica es casi inexistente en el ganado Holstein, pues sólo se reportó en 0.09% de 1034 animales examinados.

17.3.3. Atrofia ovárica

En la *atrofia ovárica*, el órgano se desarrolla normalmente, pero después sufre pérdida de su función. Se presenta como resultado de enfermedades crónicas o de aquellas que afectan en forma considerable el estado corporal del individuo. Los ovarios no contienen folículos desarrollados ni cuerpos lúteos. Se encuentra principalmente cuando las condiciones ambientales son desfavorables o el manejo y la alimentación son deficientes, provocando el anestro. Casi siempre esta situación es reversible, y se corrige al mejorar el nivel alimenticio.

17.3.4. Oforitis

La *oforitis* es la inflamación del ovario ocasionada por agentes infecciosos. En el bovino puede ser causada por la tuberculosis, con formación de granulomas, que son formaciones redondeadas elevadas sobre la superficie del ovario y constituidas por células gigantes mioepiteliales y células gigantes de Langhans. Los granulomas también se pueden localizar en el oviducto y en el útero.

17.3.5. Absceso ovárico

El *absceso ovárico* se ha encontrado en la vaca, como una secuela de endometritis o perimetritis, o bien como resultado de una infección establecida en la cavidad que se forma al realizar la enucleación del cuerpo lúteo.

17.3.6. Adherencia ovárica

La *adherencia ovárica* es una afección frecuente de la vaca, causada por infecciones ascendentes. Se puede inducir por accidente cuando la piómetra se trata mediante la aplicación de estrógenos, lo que permite el paso de microorganismos a través del oviducto hasta alcanzar al ovario.

Las adherencias también pueden formarse por la hemorragia que se provoca al realizar la enucleación del cuerpo lúteo. Por esta razón, este procedimiento se debe evitar utilizando drogas que produzcan la lisis del cuerpo lúteo, como las prostaglandinas.

17.3.7. Quistes ováricos

Los quistes del ovario son variados e incluyen: el quiste del *rete ovarii*, el quiste de los cordones sexuales, el quiste de inclusión germinal, el folículo atrésico, el quiste folicular, el quiste luteínico y el cuerpo amarillo cavitario. De marcada importancia, por los problemas de infertilidad que ocasionan, son el quiste de inclusión de la yegua, que llega a afectar al ovario, y los quistes foliculares y luteínicos de la vaca, que ocasionan alteraciones del ciclo estral.

17.3.8. Tumores ováricos

Las neoplasias del aparato genital son bastante raras en los animales domésticos destinados a la producción de alimento, quizá debido a que la vida productiva de estas especies es corta. Los animales más afectados son la vaca y la perra.

El tumor de las *células de la granulosa* afecta al ovario de la vaca y es de naturaleza benigna. Puede ocasionar signos de ninfomanía, anestro o comportamiento de macho. Los ovarios aumentan considerablemente de tamaño y llegan a medir hasta 25 cm de largo por 15 cm de ancho. Pueden pesar 900 g y presentan numerosas estructuras pseudofoliculares irregulares. Su consistencia es firme, con ciertas porciones poliquísticas y fluctuación de líquidos.

En la perra la neoplasia más común es la de las células de la *granulosa*, de la *teca* y el *cistadenoma papilar*. En la yegua los tumores ováricos son raros; se han observado tumores de las *células de la granulosa*, de la *teca*, *teratomas* y *cistadenomas*.

17.4. ALTERACIONES DEL OVIDUCTO

Las afecciones del oviducto interfieren en el transporte normal de los gametos en el proceso de fertilización, ocasionando infertilidad o esterilidad. A pesar

de la importancia que se le ha asignado como una causa de infertilidad, en un estudio realizado en Colombia se encontró que en 299 vacas repetidoras sacrificadas después del servicio, 46.5% tenían óvulos fertilizados, 6.4% no ovularon y 5.4% presentaban obstrucciones del oviducto. Resultados similares se han obtenido en otros países. En México la incidencia de lesiones como quistes paraováricos, que generalmente no influyen en la fertilidad, fue de sólo 0.46% del total de los casos estudiados.

17.4.1. Alteraciones congénitas

Las alteraciones congénitas del oviducto son muy raras, con excepción de los casos de *Freemartin* y *hermafroditas*. Las aplasias segmentarias son las anomalías más frecuentes del aparato genital relacionadas con los conductos de Müller.

Es posible encontrar la aplasia segmentaria en esta porción tubular, ya sea en conjunción con la aplasia del útero o de manera independiente. Estas aplasias segmentarias generalmente son unilaterales, pero también ocurren casos bilaterales. Su etiología radica en un gen autosomal recesivo limitante del aparato reproductor.

La aplasia segmentaria de los oviductos generalmente va asociada a la aplasia de un segmento del útero (enfermedad de las becerras blancas), afectando básicamente el oviducto ipsilateral al cuerno uterino alterado.

En bovinos y equinos se han encontrado porciones ectópicas de tejido de la corteza adrenal adyacentes al oviducto, y pueden estar presentes las tres zonas corticales.

17.4.2. Formaciones quísticas

Existe una gran variedad de formaciones quísticas en el oviducto y sus cercanías (figura 17.2), por lo que es necesario identificarlas con cuidado. En la porción del infundíbulo pueden aparecer quistes grandes que se conocen como *hidátides de Morgagni*.

Junto al ovario, o paralelamente al oviducto, se llegan a encontrar quistes originados por vestigios del quiste tubo-ovárico y el quiste de la bolsa ovárica, respectivamente. Estos quistes llegan a alcanzar los conductos mesonéfricos y paramesonéfricos; se conocen como quistes paraováricos (figuras 17.3). Se recomienda infundir tinta china para determinar si el quiste está localizado en el oviducto o junto a él. Estos quistes paraováricos rara vez obstruyen el oviducto.

Las infecciones del oviducto pueden causar inflamación y adherencias entre el ovario y la fimbria del oviducto, o bien entre el ovario y la bolsa

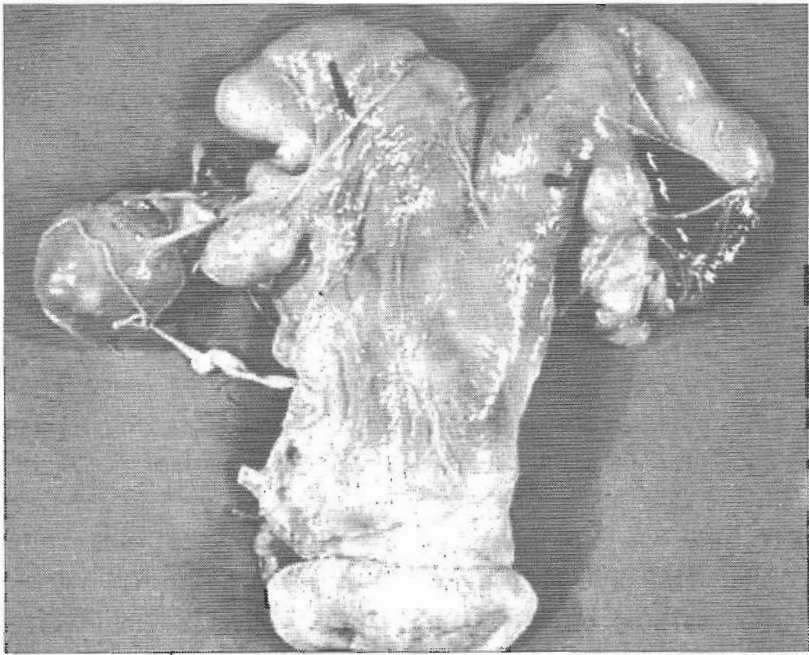


Figura 17.2. Quistes paraováricos. Se observa un quiste en la bolsa ovárica derecha y un quiste tubo-ovárico (oviducto) del lado izquierdo. Nótese la gran cantidad de adherencias localizadas en el aparato genital de la vaca

ovárica; por su tamaño mayor al del quiste folicular y su proximidad al ovario, frecuentemente se confunden y estas adherencias pueden extenderse hacia los cuernos uterinos (figura 17.4).

En la yegua se han encontrado oviductos accesorios, que también pueden enquistarse.

17.4.3. Salpingitis

La salpingitis es la inflamación del oviducto. Ocurre en todas las especies, pero es más frecuente en la vaca. Su presentación se asocia a infecciones ascendentes como metritis, piómetra y perimetritis, así como a la hemorragia provocada al extirpar el cuerpo lúteo. La inflamación puede afectar uno o ambos oviductos.

La *Brucella abortus* causa salpingitis grave, ocluyendo en muchos casos la luz del oviducto. También ocurre como secuela de aborto o retención placentaria.

Cuando el proceso inflamatorio causa la oclusión del lumen, su pared aparece distendida y contiene un fluido claro, por lo que se denomina *hidrosalpinx* o *hidrosalpingitis* (figuras 17.5 y 17.6). Dependiendo de si el contenido del oviducto consiste en sangre o pus, se denomina *hemosalpinx* o *piosalpinx*, respectivamente.

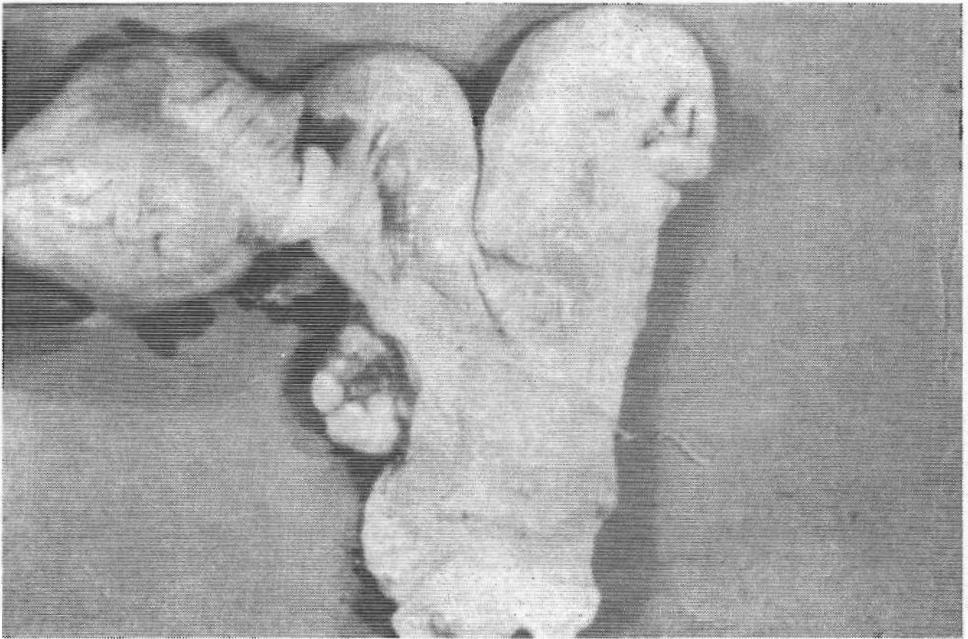


Figura 17.3. Quistes paraováricos del bovino. Quiste de la bolsa ovárica de 17 cm de longitud y 15 cm de ancho. El oviducto corre por la pared del quiste

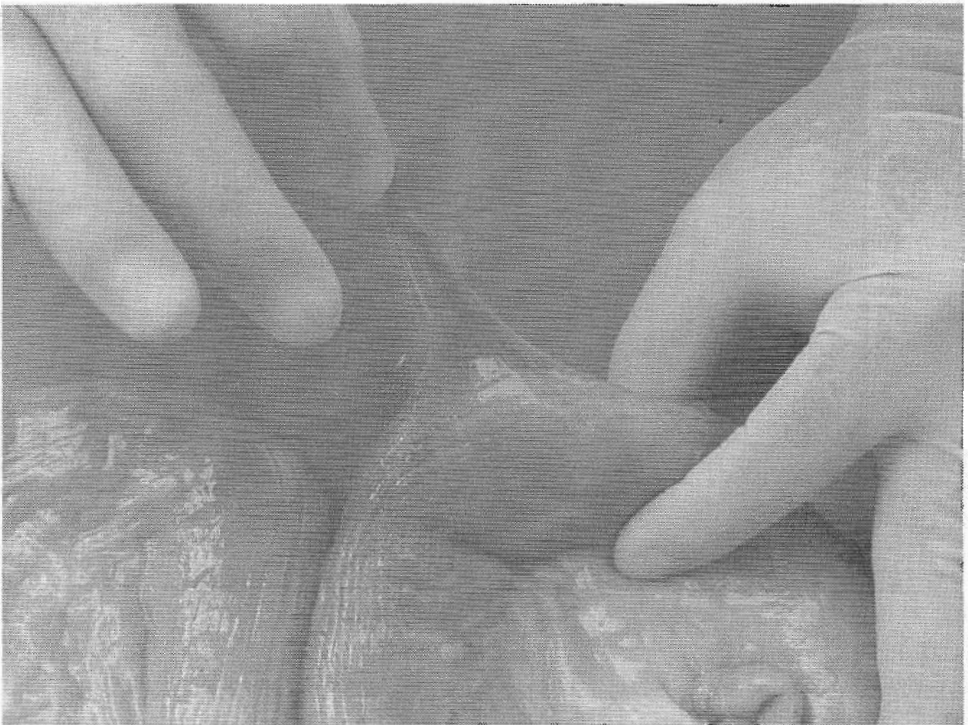


Figura 17.4. Adherencias en la pared uterina producto de un quiste paraovárico en el bovino

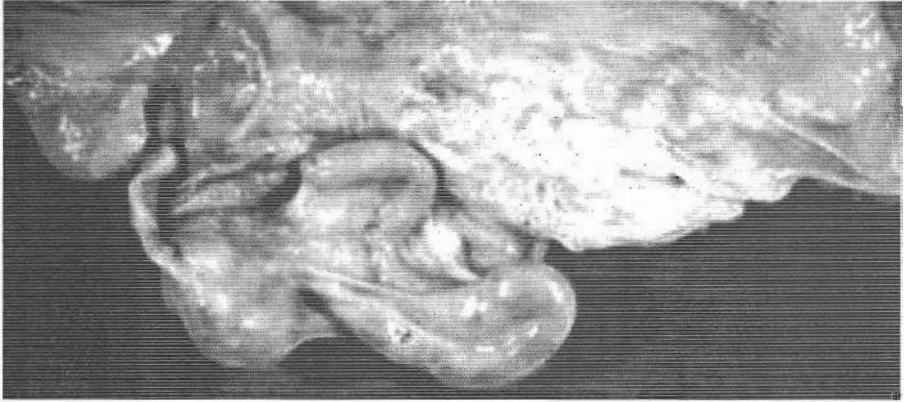


Figura 17.5. Hidrosalpinx. La oclusión de la pared interna del oviducto ha ocasionado la acumulación de las secreciones

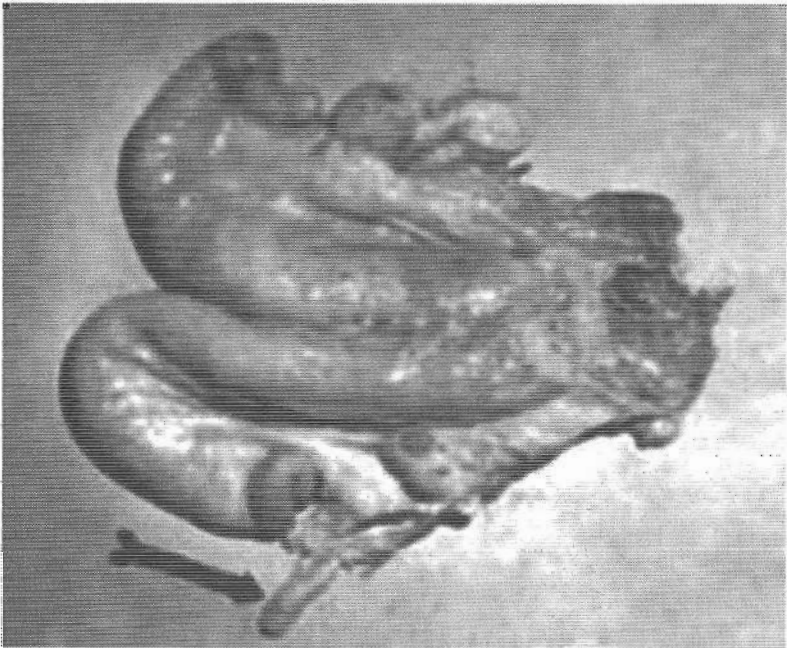


Figura 17.6. Hidrosalpingitis en una vaca adulta. La flecha indica la lesión

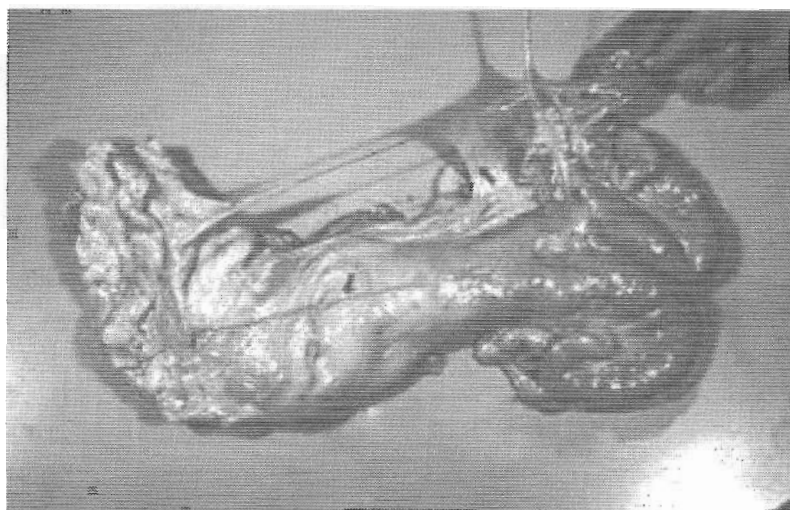


Figura 17.7. Perimetritis del bovino. El aparato genital tiene gran cantidad de adherencias

La salpingitis se encuentra con frecuencia en el ganado bovino lechero, causa repetición de servicios y esterilidad en casos bilaterales. Su diagnóstico se puede establecer por la palpación rectal cuidadosa, aunque muchas veces pasa desapercibida.

Su pronóstico es reservado, principalmente si la salpingitis es bilateral, o cuando existen complicaciones como adherencias, quistes, perimetritis (figura 17.7) o parametritis. No hay tratamiento específico; se menciona que cuando existe metritis o piómetra, las infusiones de antibióticos pueden ser de cierta ayuda.

17.5. ALTERACIONES CONGÉNITAS QUE AFECTAN DIVERSAS PARTES DEL APARATO GENITAL

17.5.1. Aplasia segmentaria

Consiste en la ausencia de una o varias partes de los órganos tubulares del aparato reproductor. Ocurre en la vaca y en la cerda y causa problemas de infertilidad. Su presentación se asocia a una alta consanguinidad. Debido a que se habían observado casos de aplasia segmentaria en la raza White Shorthorn, cuya capa es de color blanco, se conoció bajo el término de "enfermedad de las becerras blancas" (white heifer disease). Este nombre es

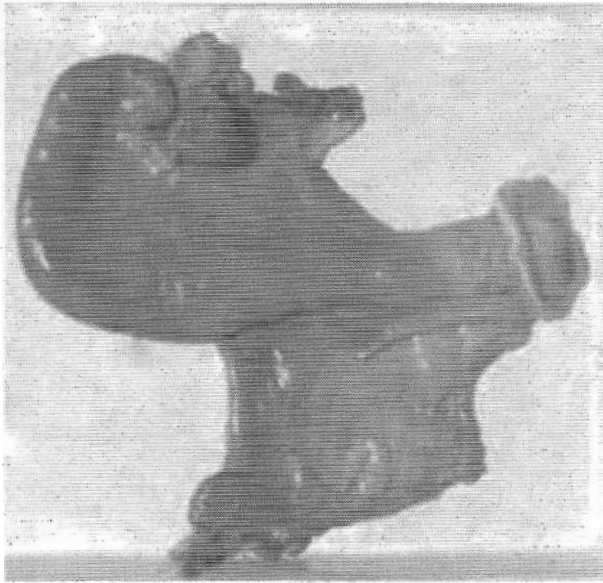


Figura 17.8. Aplasia segmentaria de los órganos genitales de la vaca. Se aprecia la falta del cuerno uterino izquierdo (*uterus unicornis*), mientras que ambos ovarios están presentes

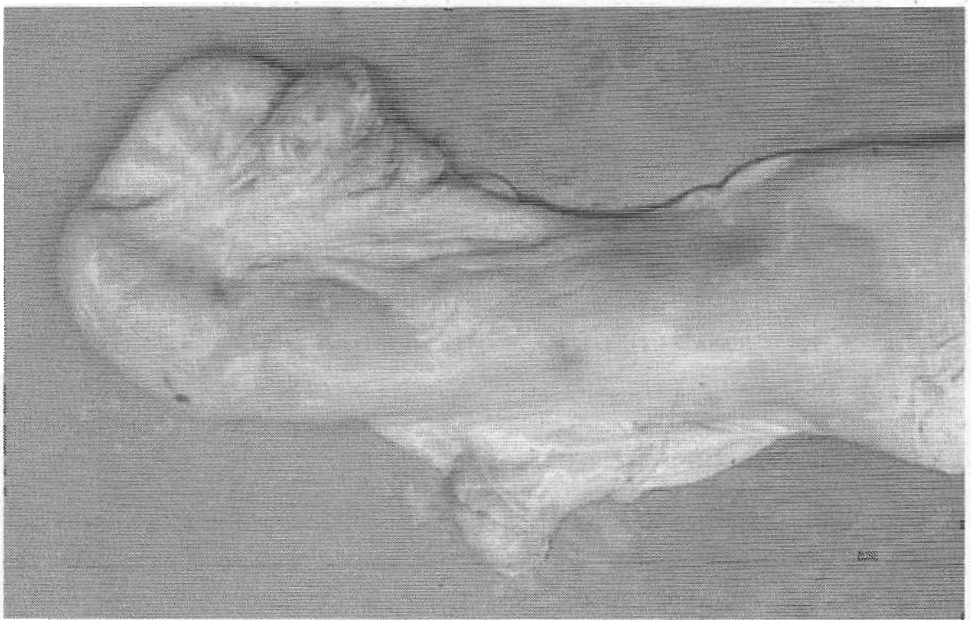


Figura 17.9. Aplasia segmentaria del cuerno uterino en el bovino

incorrecto, ya que además de encontrarse en otras razas, es preferible clasificarla con base en la descripción anatómica de la lesión. La alteración llegó a afectar en algún momento hasta 10% de las novillas Shorthorn blancas de Inglaterra.

Esta anomalía se presenta por una alteración en los procesos de canalización de los conductos de Müller o por la falta de apertura hacia el seno urogenital, lo que provoca atresia o estenosis de alguna parte del canal útero cérvico vaginal. Existen diversos grados de aplasia. En los más extremos hay constricción del himen, ausencia de la parte craneal de la vagina, el cérvix, el cuerpo y parte de los cuernos uterinos (figuras 17.8 y 17.9); en otros casos sólo falta una porción del cuerno uterino y el ápice restante se enquistiza y se desarrolla una mucómetra cuyo tamaño llega a ser tan grande, que semeja una preñez del cuarto mes.

Cuando hay aplasia completa de uno de los cuernos uterinos, la condición se denomina "útero unicornio"; estos animales pueden llegar a parir, aunque tienen fertilidad disminuida. La hembra afectada puede caer en anestro si la ovulación y el crecimiento del cuerpo lúteo fueron del lado del cuerno ausente, por la incapacidad para producir su lisis y su regresión. También se reconoce la presencia del "útero didelfo", también llamado útero doble (*uterus didelphys*, *uterus bicornis bicollis*), como una anomalía en los procesos de fusión de los conductos de Müller, en el cual hay un bloqueo necrobiótico de las paredes mediales de los conductos de Müller en la parte del cuerpo del útero.

Investigaciones recientes han demostrado que el cuadro se produce probablemente por dos pares de genes autosómicos recesivos limitante a los conductos de Müller, uno de los pares afecta al cuerno uterino izquierdo y otro al derecho. Existen también datos de enlaces entre los genes para el izquierdo y el derecho, presentándose entrecruzamiento en alrededor de 22% de las divisiones meióticas.

En la aplasia segmentaria, los ovarios y los oviductos no están afectados. En casos leves de aplasia segmentaria, ésta puede estar restringida a un himen grueso que ocluye desde la vagina craneal hasta el meato urinario.

17.5.2. Ausencia de glándulas endometriales

Esta alteración congénita es causa de esterilidad. Se ha observado en vaquillas que, después de estar en celo, permanecen en anestro. Este anestro se debe a la persistencia del cuerpo lúteo, ya que el endometrio no produce el factor luteolítico necesario para que se realice la regresión del cuerpo lúteo y se reanude el ciclo estral.

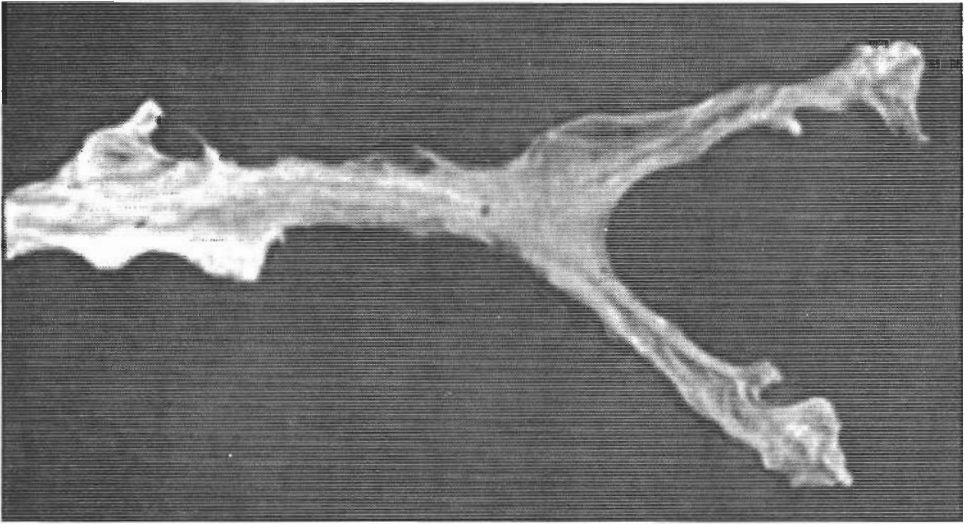


Figura 17.10. Freemartin en el bovino. Los ovarios están indiferenciados y los órganos tubulares no se desarrollaron. Se observan vesículas seminales

17.5.3. Freemartin

La palabra “Freemartin” significa vaquilla estéril, y así se denomina a la becerrera de una gestación gemelar en la que el otro producto es un macho. En 90 a 92% de los casos, la hembra está afectada con grandes fallas en el desarrollo de sus órganos genitales (figura 17.10). Bajo la denominación de *síndrome freemartinismo* se agrupan diferentes estados de masculinización de los órganos genitales de las hembras producto de gestaciones gemelares de diferente sexo.

En la hembra Freemartin, las gónadas están indiferenciadas y semejan más bien un testículo que un ovario, ya que la corteza ovárica no existe, o es muy pequeña y puede estar próximo un epidídimo rudimentario. Los conductos paramesonéfricos no están completamente desarrollados; a veces existe la formación de un útero rudimentario, pequeño e incompleto, pero no hay cérvix y la vagina es muy corta. La vulva parece normal, pero muestra un largo mechón de pelos y un clítoris que sobresale entre la hendidura vulvar.

La presencia de las vesículas seminales permite diferenciar el Freemartin de los casos graves de aplasia segmentaria. Las hembras Freemartin no muestran ciclos estrales al llegar a la edad en la que deberían alcanzar la pubertad, tienen una ubre muy pequeña y su aspecto externo es de macho. El Freemartin se origina al adosarse las dos placentas de los productos, con

fusión y anastomosis de los vasos corioalantoideos, lo que permite una comunicación de la circulación sanguínea y el intercambio de las siguientes células y hormonas, que puede ser la base de las teorías humoral y celular:

- Eritrocitos portadores de grupos sanguíneos antigénicos.
- Células de la línea blanca.
- Células primitivas del sexo masculino con cromosomas XY.
- Andrógenos testiculares del feto masculino.
- Hormona anti-Müller.

Esta comunicación se establece desde el día 28 de la gestación, antes de la diferenciación sexual, que en el bovino se efectúa entre los días 40 y 50. A los 75 días de la concepción se presenta la masculinización.

En el ganado vacuno se hallan gemelos en alrededor de 1.36% de los partos. La frecuencia es algo mayor en las razas de producción láctea y más baja en las de carne. La heredabilidad para los nacimientos múltiples se ha calculado aproximadamente en 5%.

Para tratar de explicar el origen del Freemartin se han propuesto dos teorías, la del intercambio *humoral u hormonal* y la *celular*, sin que ninguna de las dos lo explique en su totalidad.

17.5.3.1. Teoría humoral

Se creía que las hormonas producidas por el gemelo macho, al pasar a la circulación de la hembra, provocaban los defectos típicos del Freemartin. Sin embargo, la inyección de andrógenos o estrógenos en el alantocorion o el endometrio de vacas, entre los 37 y 80 días de la gestación, no provoca una transformación de las gónadas del feto hembra hacia un testículo, y sólo ocurre una masculinización de los órganos genitales. De manera que los esteroides son incapaces de ocasionar los cambios del Freemartin, por lo menos actuando en forma aislada.

Existe evidencia de que las células de Sertoli del testículo del feto macho secretan una *hormona inhibidora de los conductos de Müller* (HIM), la que al pasar a la circulación sanguínea de la hembra impide el desarrollo de las partes tubulares del aparato genital. La HIM es una proteína fetal de alto peso molecular, que inhibe el desarrollo de los órganos de Müller. En las hembras genéticamente femeninas, la diferenciación de los derivados de los conductos de Müller, el seno urogenital y la regresión de los conductos de Wolff se hace automáticamente, salvo que existan testículos. De antemano se pueden destacar los efectos hormonales sobre los ovarios fetales, porque la organogénesis ovárica comienza una vez finalizada la diferenciación de

los conductos de Müller de los órganos sexuales femeninos secundarios y de la regresión de los conductos de Wolff.

A pesar de que las células XX no se ponen en contacto con el andrógeno endógeno, sí están revestidas de receptores proteicos androgénicos, como las células XY. Lo anterior explica por qué los fetos XX pueden ser tan fácilmente masculinizados. También explica, de modo semejante, por qué las células XX gonadales pueden, en presencia de células gonadales XY (por ejemplo en el caso del quimerismo XX/XY), actuar en la organización de los testículos.

17.5.3.2. Teoría celular

La teoría celular se basa en el conocimiento del intercambio de las células que dan origen a las células hematopoyéticas, con lo que los productos se transforman en quimeras que poseen dos poblaciones celulares diferentes, una con cromosomas XX y otra XY. La presencia de los cromosomas sexuales XY en estos animales, apoya la teoría celular, ya que el cromosoma Y contiene una región determinante en la inducción de testículos en el macho (SRY). También es posible que ocurra un intercambio de células primordiales entre los dos fetos. Si esto es así, la presencia de células con cromosomas XY en las crestas genitales podría ocasionar el Freemartin.

El macho Freemartin también es una quimera (XX-XY), su desarrollo sexual generalmente es normal y lo mismo su fertilidad, sin embargo se piensa que su esteroidogénesis no es del todo normal y existen informes que indican que su fertilidad es menor.

Este síndrome también se ha encontrado en ovinos, caprinos y suinos, aunque su incidencia es más baja que en el bovino.

17.5.4. Intersexos

Aunque el sexo es considerado simplemente como femenino o masculino, su definición es diferente si se refiere al sexo genético, gonadal, fenotípico, de comportamiento y legal. En algunos animales se presentan cambios anatómicos congénitos que dificultan la clasificación de su sexo, como es el caso de los hermafroditas o los pseudohermafroditas. Se entiende por intersexualidad la desviación aberrante del desarrollo del sexo genético, también denominado sexo cromosomal. En la actualidad se ha reorganizado la intersexualidad en las siguientes divisiones:

- Freemartinismo.
- Síndrome autónomo XX/XY.
- Síndrome diploide -XX/ triploide-XXY.

- Síndrome de feminización testicular.
- Síndrome de trisomía-X (síndrome XXX).

17.5.4.1. *Hermafrodita*

El verdadero hermafrodita es aquel que, de acuerdo con el examen histológico, posee una o ambas gónadas con tejido ovárico y testicular, lo que se conoce como *ovotestes*, o bien un testículo y un ovario. En estos animales los estudios de la cromatina sexual y la citogénesis han mostrado que la mayoría son en realidad hembras modificadas. El hermafroditismo ocurre con mayor frecuencia en la cabra y en los cerdos, y parece ser un defecto genético. En la cabra la alteración está relacionada con la ausencia de cuernos. No se conoce su cariotipo. Externamente presentan fenotipo femenino.

En general los hermafroditas son estériles, aunque en casos muy excepcionales se ha observado que el cerdo con un ovario y un testículo puede llegar a parir.

17.5.4.2. *Pseudohermafrodita*

El pseudohermafrodita se considera femenino o masculino según el sexo de sus gónadas. Estos animales poseen gónadas de un sexo y los órganos reproductivos accesorios del sexo contrario.

17.5.4.2.1. Pseudohermafrodita masculino

El pseudohermafrodita macho es el más común y se presenta principalmente en suinos y caprinos, aunque también se ha encontrado en el bovino (figura 17.11), el equino, el canino y el humano.

Debido al desarrollo anormal, los órganos genitales externos semejan los de una hembra; tienen testículos, pero sin epidídimo, los que pueden estar situados en la cavidad abdominal, subcutáneos o cerca de un escroto poco desarrollado. El clítoris es más grande y en la cerda sobresale a través de la vulva. El orificio externo de la uretra puede estar en diferente sitio con respecto al que tiene normalmente en la hembra, y puede presentarse en una estructura parecida al pene, con hipospadias en la región escrotal o abdominal.

En el pseudohermafrodita macho los órganos genitales internos tienen características de los dos sexos, y poseen una estructura parecida al útero. En ocasiones estos animales son detectados por no mostrar celo, o por su apariencia de macho castrado. Siempre son estériles, sobre todo los que tienen testículos intraabdominales o subcutáneos. El comportamiento sexual de estos individuos es masculino. Casi todos los pseudohermafroditas machos y hembras son genéticamente hembras (XX), y son positivos al sexo nuclear indicado por el corpúsculo de Barr. La evidencia disponible indica que esta



Figura 17.11. Pseudohermafrodita macho ovino. Se puede observar la formación de vulva y un clítoris saliente y aumentado de tamaño

alteración es hereditaria. La etiología es una insuficiencia de *hormona anti-Müller* y falta de andrógenos.

17.5.4.2.2. Pseudohermafrodita femenino

Este pseudohermafrodita tiene gónadas femeninas y se origina por la exposición a andrógenos durante la vida fetal. Su apariencia externa es de macho. Esto puede ser ocasionado por alteraciones de la corteza adrenal o por fallas en la esteroidogénesis. Se ha observado en el ser humano, pero en los animales domésticos es muy rara su presentación. Se ha descrito en el perro. Algunos efectos similares se pueden originar en el feto cuando a una hembra gestante se le aplican andrógenos o progesterona.

17.5.5. Alteraciones de los cromosomas sexuales

La monosomía del cromosoma X (XO) se ha encontrado en la yegua y en la cerda. En la mujer se conoce como síndrome de Turner. Esta alteración frecuentemente es letal.

Los cromosomas sexuales extra son más compatibles con la vida, y la fórmula XXY va asociada a una patología testicular que causa infertilidad. Se observa en el toro, el garañón, el carnero y el verraco. En el hombre se denomina síndrome de Klinefelter.

17.6. ALTERACIONES DEL ÚTERO

17.6.1. Infecciones del útero

17.6.1.1. Mecanismos de defensa del útero bovino

Se conoce que durante la fase folicular (estrogénica) del ciclo estral, los mecanismos de defensa son mayores, en comparación con los de la fase lútea (progestacional).

Durante el periodo puerperal, el útero es capaz de contrarrestar las infecciones, salvo cuando se presentan problemas en el parto o condiciones que favorecen la invasión de microorganismos. Bajo estas condiciones, los mecanismos de autodefensa se encuentran afectados y se produce una demora en el proceso involutivo. Como consecuencia, la concepción se retrasa hasta más de los 90 días postparto.

El útero posee inmunidad local medida principalmente por las inmunoglobulinas A y G, producidas en las células plasmáticas del endometrio. La IgG ejerce una acción bactericida y la IgA previene la fijación de bacterias en la mucosa endometrial.

Durante la fase lútea, el mecanismo de defensa uterino se encuentra disminuido por:

- El pH intrauterino bajo (6.4), que favorece el crecimiento de bacterias en el medio uterino.
- El sistema leucocitario es estimulado tardíamente, lo que conlleva en que tanto la aparición de leucocitos en el endometrio como en el lumen uterino, sea lenta; por esta razón, la actividad leucocitaria disminuye y no hay efecto detoxificante.
- Las células polimorfonucleares (PMN) aumentan su actividad en presencia de estrógenos, lo contrario que en la presencia de progesterona (P4) y cortisol.
- Durante el puerperio, fisiológico o patológico, las infusiones uterinas de antibióticos y/o antisépticos, salvo el aldehído del ácido acético durante los primeros 25 días, inhiben el sistema inmunológico del útero y la actividad de la $\text{PgF}_2\alpha$, lo cual podría redundar en un fracaso terapéutico.

La fagocitosis es la primera reacción que manifiesta el útero en presencia de un huésped extraño, siendo esta acción ejercida por los neutrófilos, monocitos y macrófagos; esta función (fagocítica) se divide en: quimiotaxis, adhesión y ataque, ingestión y digestión de los microorganismos invasores.

Igualmente intervienen los leucotrienos, factores derivados de las células cebadas y componentes derivados del sistema de complemento. Las células polimorfonucleares uterinas son los principales responsables del mecanismo de defensa uterino y, a su vez, la infiltración leucocitaria en la luz uterina depende del balance hormonal presente. Las células polimorfonucleares matan y fagocitan las bacterias invasoras, mientras que las inmunoglobulinas las lisan o actúan como opsoninas para favorecer dicha fagocitosis. La capacidad inmunitaria del útero después del parto se encuentra disminuida, siendo IgG e IgM las más afectadas, mientras que la IgA es más alta en vacas con puerperio alterado.

La $\text{PgF}_2\alpha$ cumple una función importante en el incremento de las defensas contra la invasión bacteriana a medida que el cérvix se va dilatando durante el proceso del parto (fase II de parto o periodo de dilatación); una adecuada producción de estrógenos, en asociación con la oxitocina, activan posteriormente los mecanismos de defensa del útero incidiendo en la contracción peristáltica del miometrio y, por lo tanto, en la rápida expulsión de los loquios y residuos placentarios.

Se ha sugerido que la actividad leucocitaria deprimida es la causa posible de retención de placenta y desarrollo de endometritis agudas.

El proceso de fagocitosis uterino suele comenzar al segundo día postparto y excepcionalmente en el preparto; en condiciones anormales, el índice fagocítico leucocitario, que debe darse en el inicio del puerperio, puede retrasarse e iniciar el cuarto o quinto día postparto y nivelarse sobre los 21 días.

17.6.1.2. Endometritis

La endometritis causada por infecciones y su inflamación secundaria, es una de las afecciones más frecuentes en las hembras domésticas, principalmente en el ganado bovino. El término endometritis se aplica a la inflamación de la mucosa uterina; metritis cuando toda la pared del órgano es afectada; perimetritis si la inflamación incluye la capa serosa, y parametritis si las zonas adyacentes también se involucran en el proceso patológico. La endometritis es una condición patológica común, principalmente en el ganado lechero, que impide significativamente la función reproductiva de los animales provocando pérdidas económicas de variable magnitud y que disminuye en gran medida la eficiencia reproductiva del hato en general. Se estima que la endometritis provoca pérdidas cercanas a los 100 dólares por lactancia debido

a intervalos entre partos prolongados, aumento de la tasa de desecho, medicamentos y leche eliminada.

En la vaca la endometritis puede ocurrir durante el postparto o como consecuencia del servicio. Muchas veces se observa después de abortos, retención placentaria, partos prematuros, partos gemelares, distocia o lesiones traumáticas del aparato genital, ocurridas durante el parto.

Se ha demostrado la presencia de bacterias en el útero de un alto porcentaje de vacas y yeguas recién paridas, pero bajo circunstancias normales la resistencia natural del útero elimina la contaminación y la inflamación. A nivel de campo, la incidencia de esta alteración se ha estimado en 7.5 a 8.9%, cuando su diagnóstico se basa en la presencia de secreciones vaginales anormales; 18% cuando se diagnostica por palpación rectal y entre 13 y 40% basados en diagnósticos veterinarios y microbiológicos.

La endometritis puerperal crónica de diversa etiología es inicialmente aguda (loquiómetra), y al poco tiempo, entre 8 a 10 días postparto, se vuelve crónica, encontrándose gérmenes facultativamente patógenos.

El útero normal no preñado está provisto de un alto grado de resistencia a las infecciones; el mismo cérvix es una barrera que impide el acceso hacia el útero de los abundantes microorganismos presentes en la vagina. Aun las infecciones específicas del aparato genital, como las ocasionadas en el bovino por *Campylobacter foetus* o *Trichomona foetus*, son de duración limitada.

En la fase folicular del ciclo, el útero es muy resistente a las infecciones; por el contrario, es susceptible en la fase lútea, cuando se encuentra bajo la influencia de la progesterona. La formación local de anticuerpos y la afluencia leucocitaria del estro, contribuyen a terminar con la mayoría de las infecciones después de varios ciclos estrales.

Mientras exista endometritis, el animal presenta celo y la concepción puede realizarse, pero después se produce la muerte del embrión, causando repetición de servicios e infertilidad. La infección puede introducirse al útero por medio de la monta o la inseminación artificial. En las vaquillas sometidas a monta natural, la infección puede originarse a partir de los microorganismos que se encuentran en la mucosa del pene o del prepucio; a veces estas vaquillas desarrollan inmunidad contra esos gérmenes.

En la inseminación artificial el semen es depositado de manera directa en el útero y puede estar contaminado por falta de higiene durante la recolección y procesamiento del mismo o durante su aplicación.

En la vaca y en la yegua las fallas en la posición, tamaño y cierre de la vulva influyen en la presencia de infecciones. Los signos de metritis pueden pasar desapercibidos, a menos que se observe la expulsión de secreción purulenta a través de la vulva, y aun en tales casos no es posible asegurar que la pus proviene del útero. Al examen rectal, el útero afectado tiene la

pared engrosada; en la metritis postparto, uno de los cuernos uterinos es de mayor tamaño (el cuerno portador), por la interferencia del proceso inflamatorio en la involución postparto. En casos de endometritis aguda es posible detectar la existencia de secreciones en el lumen del órgano.

El examen vaginal muestra con frecuencia una secreción mucopurulenta o purulenta en el piso de la vagina; la mucosa está enrojecida y se puede presentar prolapso de uno de los anillos cervicales, lo que ayuda a confirmar el diagnóstico. Los agentes patógenos que se asocian con mayor frecuencia a los procesos infecciosos e inflamatorios del útero son transmitidos al órgano ya sea por vía sistémica, en infecciones que cursan con bacteremia o viremia, o por vía local, asociada con malas prácticas de manejo en el momento del parto o con tratamientos inadecuados después del mismo. Los patógenos que pueden ocasionar inflamaciones agudas y/o crónicas del útero se pueden clasificar como:

- Enfermedades venéreas: *Campylobacter fetus sub-especie verealis*, *Trichomona foetus*.
- *Ureoplasma* spp., *Hemophilus* spp., *Mycoplasma* sp.
- Infecciones específicas: IBR, BVD, PI-3, Blue Tongue, aborto enzootico bovino, *Brucella abortus*, *Neospora caninum*, *Leptospira* spp., *Escherichia coli*, *Listeria* sp., *Salmonella* sp., *Chlamydia* sp., *Bacillus cereus*, *Aspergillus* sp.
- Organismos oportunistas: *Actynomices pyogenes* (metritis agudas y crónicas).
- *Aerobios gramnegativos* (metritis agudas y metritis sépticas).

Para el tratamiento de la endometritis se aplican infusiones locales de antibióticos o de sustancias antisépticas. Sin embargo, en varios trabajos experimentales se ha puesto en duda la validez de dichos tratamientos. En el caso de vacas con metritis moderada los porcentajes de concepción y los días abiertos no muestran diferencias en comparación con vacas normales. También se ha observado que las vacas con metritis moderadas, tratadas con infusión intrauterina de antibióticos y vacas con metritis moderada sin tratamiento, tienen fertilidad similar. En vacas que tienen cuerpo lúteo, el celo inducido mediante el tratamiento con prostaglandinas tienen efecto benéfico.

La prevención de la endometritis consiste en mejorar las normas de higiene y manejo de los animales, sobre todo en el parto, el puerperio y al realizar la monta o la inseminación artificial.

17.6.1.3. Piómetra

La piómetra es una infección crónica supurativa del útero, con acumulación de pus en el lumen (figura 17.12).

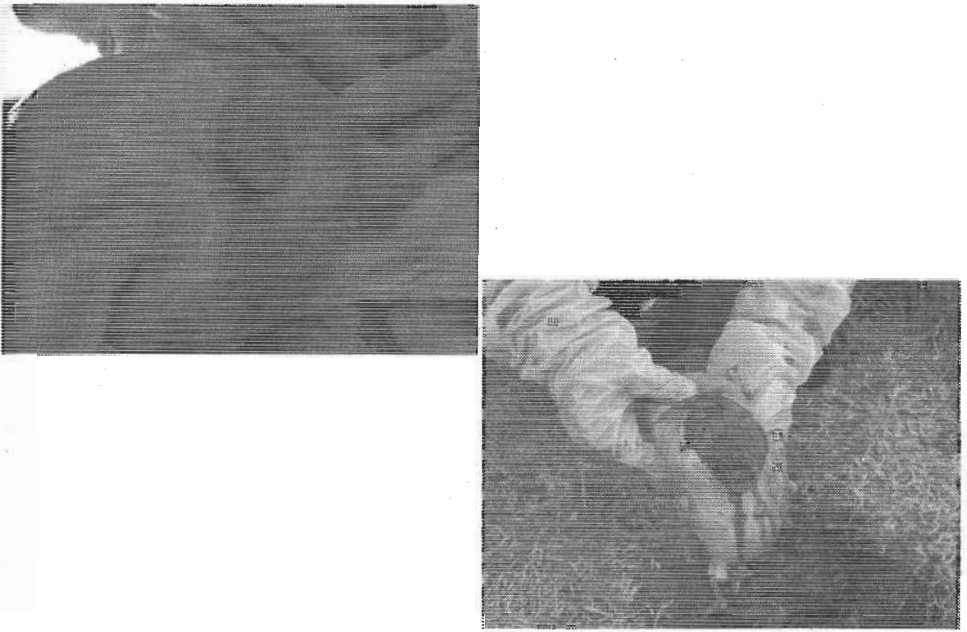


Figura 17.12. Piómetra en una oveja. Nótese la acumulación de fluido y el contenido del mismo, el cual se observa del lado derecho de la fotografía

En la vaca, la piómetra grave ocurre después de abortos, partos prematuros, distocia, retención placentaria o loquiómetra. En la piómetra el útero es de mayor tamaño, principalmente el cuerno donde se llevó a cabo la gestación; la pared uterina es gruesa y el contenido puede variar de algunos mililitros a varios litros de pus. Por lo general existe un cuerpo lúteo en uno de los ovarios, lo que inhibe la presentación del celo. Al examinar al animal, es frecuente observar el escurrimiento purulento a través de la vulva, sobre todo cuando el animal se encuentra echado.

La piómetra también puede ser ocasionada por la monta (piómetra poscoital), y en tal caso debe sospecharse de tricomoniasis. En la piómetra el endometrio se altera seriamente, y si no se realiza un tratamiento oportuno se forma una zona de fibrosis amplia que causa problemas de infertilidad.

Se sabe que el *Arcanobacterium pyogenes* provoca metritis y piómetras graves. Las bacterias de la flora vaginal normal son la fuente más probable de contaminación uterina. Para el tratamiento de la piómetra se utilizan infusiones intrauterinas de antibióticos. La expulsión del material purulento se consigue al provocar la lisis del cuerpo lúteo, mediante la aplicación de prostaglandinas. La extirpación del cuerpo lúteo no se recomienda porque causa graves problemas.

En la yegua con piómetra, la cantidad de pus presente en el útero es variable, la pared uterina es delgada y sin tono, y el proceso no presenta

cuerpo lúteo en uno de los ovarios. La infección se asocia a infecciones postparto y a afecciones del cérvix que dificultan la salida de los líquidos, como son estenosis, adherencias o fibrosis.

En la perra y la gata la piómetra ocurre en la fase lútea del ciclo, y se relaciona con alteraciones hormonales del metabolismo de la progesterona e infecciones secundarias.

17.6.2. Neoplasias uterinas

Los tumores más comunes que ocurren en el útero de la vaca son el leiomioma y el fibroma. La linfomatosis o leucosis también se encuentra con frecuencia en el útero, aunque afecte principalmente otros órganos y sistemas.

17.6.3. Abscesos y hematomas uterinos

En la vaca, los hematomas y abscesos uterinos se localizan casi siempre en el cuerpo uterino. Son el resultado de la lesión que se ocasiona por la introducción torpe del catéter de inseminación artificial; rara vez se producen como traumatismo del parto (figura 17.13).

17.7. ALTERACIONES DEL CÉRVIX

17.7.1. Alteraciones congénitas del cérvix

Al igual que el útero doble, el cérvix doble tiene génesis genética, y es una anomalía en el proceso de fusión de los conductos de Müller.

Entre los defectos congénitos del cérvix se presenta la persistencia de la pared media del conducto paramesonérfico, que causa la duplicación parcial o total del cérvix. Se presenta cuando las dos paredes mediales de los conductos müllerianos no se fusionan a la altura del cérvix, encontrándose dos cuellos uterinos perfectamente delimitados con sus respectivos orificios cérvico-vaginales (figura 17.14). El cérvix doble incompleto es más frecuente; en este caso uno de los conductos cervicales conduce hacia el útero, pero el otro está ocluido. Aquí no se presenta fusión distal de las paredes müllerianas correspondientes al cérvix, presentándose igualmente dos orificios cérvico-vaginales, que pueden dificultar la inseminación.

En la vaca, el canal cervical presenta por lo regular una serie de cuatro anillos (anillos de Burdi). Algunas becerras nacen con hipoplasia cervical y pocos anillos, por lo que la vaquilla desarrolla infecciones, debidas a la incapacidad del cérvix para proteger al útero. El canal cervical también puede causar infertilidad cuando es muy tortuoso, o cuando tiene dilataciones o divertículos que dificultan la inseminación artificial.



Figura 17.13. Absceso uterino en el bovino

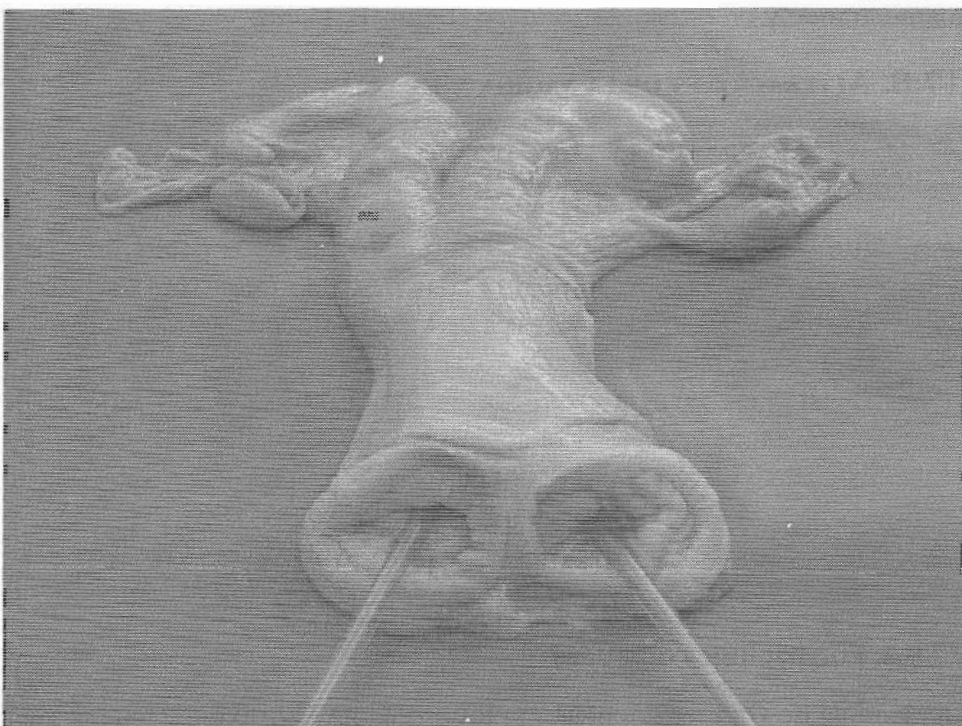


Figura 17.14. Banda de tejido localizada en la porción caudal del cérvix del bovino

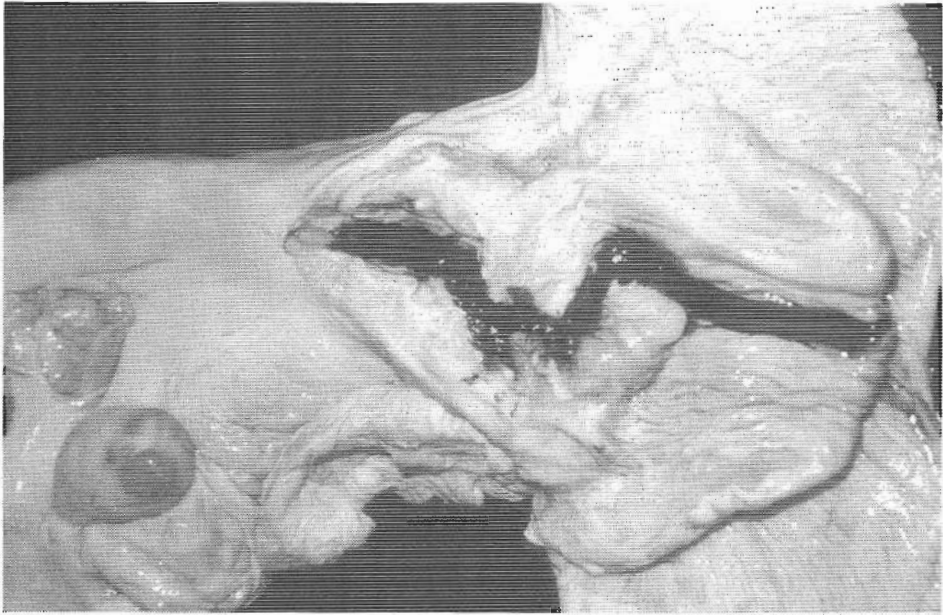


Figura 17.15. Cérvix tortuoso en el bovino, lo cual dificultaría la técnica de IA. La tinta ilustra la desviación del cervix

El cérvix del ganado cebú presenta variaciones en cuanto a su forma, tamaño y consistencia. En las hembras adultas cebuinas, el cérvix es a veces sumamente grande y en ocasiones tortuoso (figura 17.15).

17.8. ALTERACIONES DE LA VAGINA Y LA VULVA

17.8.1. Alteraciones congénitas de la vagina y la vulva

Algunas alteraciones congénitas de la vagina y la vulva se relacionan con el Freemartin o la aplasia segmentaria. Los remanentes de la pared media del conducto paramesonéfrico, forman bandas de tejido frente a la os externa del cérvix (figura 17.16). La hipoplasia de la vulva puede interferir con la expulsión del feto al momento del parto.

Los tabiques vaginales, que son tabiques verticales, son rudimentos que permanecen de la necrosis biológica de la pared media del conducto de Müller. Algunas veces se presentan tabiques de las paredes mucosas de la vagina.

Las displasias de la vulva se consideran cuando existe una hipertrofia del clítoris en la forma atípica del freemartinismo.

17.8.2. Formaciones quísticas

La glándula de Gärtner se encuentra localizada en el piso de la vagina y representa porciones de los conductos mesonéfricos; en ocasiones existe

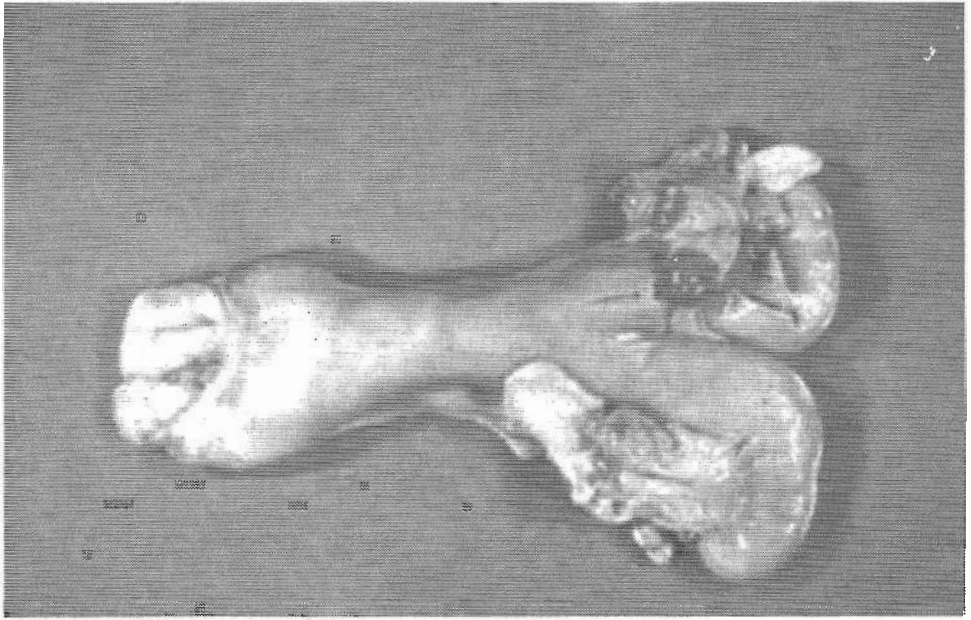


Figura 17.16. Doble os externa del cérvix del bovino

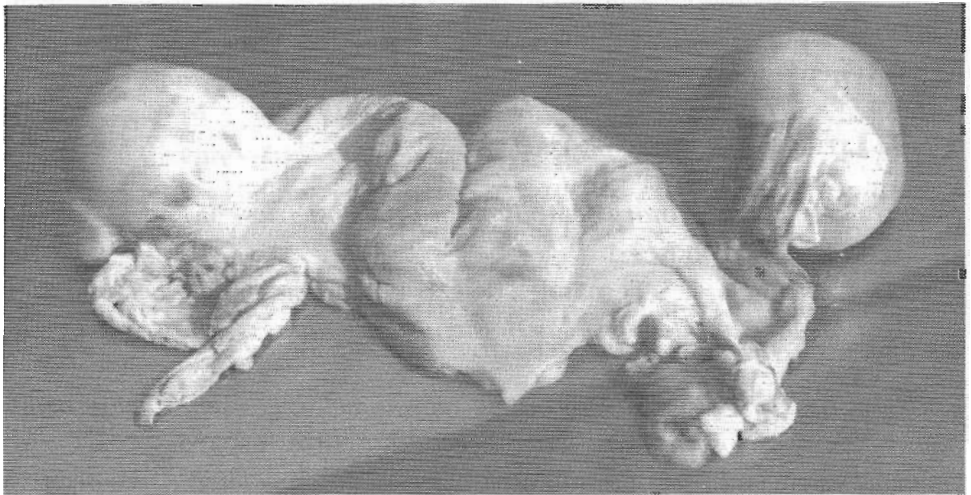


Figura 17.17. Quiste de las glándulas de Bartholini de la vaca

obliteración de su canal, lo que ocasiona su enquistamiento en forma de varias vesículas alineadas y una detrás de otra.

El quiste de las glándulas de Bartholini se observa como una vejiga de unos 6 centímetros de diámetro en el vestíbulo, a través de la vulva (figura 17.17), se encuentra en la vaca y en la mujer. Su presentación puede relacionarse con infecciones uterinas crónicas.

17.8.3. Alteraciones adquiridas

Frecuentemente, a consecuencia de la incorrecta extracción forzada de la cría, se produce la ruptura de la pared vaginal y se forman abscesos en la cavidad pelviana. También ocurren desgarros en el tabique rectovaginal, con la formación de fístulas rectovaginales. El desgarramiento de la vulva casi siempre cicatriza en forma irregular, provoca el cierre incompleto de los labios vulvares, e introducción de heces, causando infecciones crónicas del aparato genital.

La vaginitis granular es quizá la afección más frecuente de la vaca; puede ser causada por gran variedad de microorganismos. Por lo general la infección es localizada y no interfiere con la fertilidad. Es necesario diferenciar estos casos de la vulvovaginitis pustular infecciosa (IVP), cuyas lesiones vaginales son más marcadas.

17.8.4. Neoplasias de la vagina y de la vulva

En la vaca las neoplasias más comunes en estos órganos son la linfomatosis y el fibroma, los melanomas y el carcinoma escamoso en vaca y yegua, y el tumor venéreo transmisible en la perra.

17.9. LITERATURA RECOMENDADA

- Arthur, G. 1975. *Veterinary reproduction and obstetrics*. 4a. ed., Bailliere-Tindall, Londres.
- Cuevas, J., Valencia, J., y Fernández de C.I. 1981. *Incidencia de alteraciones de los genitales de vacas Holstein sacrificadas en el rastro*. *Vet Méx* 12:81.
- Derivaux, J. 1967. *Fisiopatología de la reproducción e inseminación artificial de los animales domésticos*. Ed. Acribia, España.
- Galván., Valencia, J., y Constantino, D.L. 1981. *Observaciones de los órganos de hembras bovinas de ganado productor de carne sacrificadas en el rastro*. *Vet Méx* 13:7.
- Gibbons, W.J. 1953. *Some congenital conditions interfering with fertility in cattle*. *Amer. Vet. Med. Assoc. Proc.* 90th Ann. Mtg.: 399.

18. ALTERACIONES HORMONALES DE LA HEMBRA*

ADRIANA SAHARREA / JAVIER VALENCIA

- 18.1. INTRODUCCIÓN
- 18.2. QUISTES OVÁRICOS
- 18.3. ALTERACIONES DEL ESTRO Y DE LA OVULACIÓN
- 18.4. ALTERACIONES HORMONALES DE LA GESTACIÓN
- 18.5. ALTERACIONES HORMONALES DEL PARTO
- 18.6. LITERATURA RECOMENDADA

18.1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de las explotaciones pecuarias y el grado de selección al que son sometidas las especies domésticas para obtener una alta producción, han ocasionado un desequilibrio entre el ambiente y el organismo animal. Por esta causa, las alteraciones hormonales que afectan la eficiencia reproductiva han ido en aumento, principalmente cuando la alimentación y el manejo son inadecuados. Esas alteraciones pueden presentarse en todas las especies y en diversos estadios fisiológicos del animal.

18.2. QUISTES OVÁRICOS

Los quistes ováricos pueden ser de dos tipos básicamente: los que derivan de folículos anovulatorios, clasificados como quistes foliculares y quistes luteinizados; los segundos son los cuerpos lúteos quísticos o cavitarios, que derivan de un folículo que sí ovuló, pero que no terminó de luteinizarse por completo. De todos los tipos de quistes ováricos, únicamente los foliculares y los luteinizados producen problemas reproductivos.

18.2.1. Quistes foliculares y luteinizados

Los quistes foliculares y lúteos (también llamados quistes luteinizados) son estructuras que derivan de la falla en la ovulación de un folículo maduro, el

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Alteraciones hormonales de la hembra", elaborado por Arturo Duchateau.

cual sigue creciendo y permanece en el ovario por un periodo prolongado. Para que se puedan considerar como quistes, deben medir 2.5 cm o más de largo, estar presentes en el mismo sitio del ovario por periodos mayores a 10 días y no existir cuerpo lúteo en el ovario. Estos tipos de quistes son más comunes en el ganado productor de leche, en el cual tienen una incidencia del 7-13% por lactancia, y se presentan muy rara vez en ganado especializado en producción de carne. Los quistes foliculares son más comunes que los quistes lúteos (60-70 vs 30-40%, respectivamente), aunque en algunos casos los quistes foliculares se luteinizan paulatinamente y se transforman en quistes lúteos. De las vacas que presentan quistes, el 20% sana espontáneamente, aunque la patología puede presentarse de manera recurrente en los servicios subsecuentes. Debido a que los quistes pueden permanecer hasta varios meses en el ovario, son una de las principales causas de pérdidas económicas en la industria lechera, ya que las vacas son infértiles en tanto esté presente el quiste. A pesar de que los animales reciban tratamiento inmediatamente después del diagnóstico, transcurrirá un promedio de 50 días para quedar gestantes. La afección provoca alargamiento del intervalo de parto a estro y de parto a concepción, aunado al gasto invertido en inseminaciones infructuosas que derivan de estros conductuales que se presentan comúnmente en las vacas con quistes foliculares. Este tipo de quistes es frecuentemente diagnosticado durante el puerperio (16-45 días postparto temprano), así como alrededor de los días 120-200 postparto; la distribución en la presentación de los quistes quizás esté siendo influida por el manejo reproductivo, ya que durante el postparto temprano se hacen las revisiones correspondientes para dar inicio a las inseminaciones y entre los días 120-200 se realiza el diagnóstico de gestación. Existe controversia entre los factores que pudieran estar involucrados en la presentación de los quistes; entre ellos se menciona la producción láctea, ya que las vacas altamente productoras presentan una mayor incidencia de quistes; pero también se ha observado que las vacas que tienen quistes producen más leche, independientemente de que sean muy o poco productoras. Se ha asociado la presencia de quistes a la heredabilidad, aunque su índice de herencia es bajo. Sin embargo, sigue siendo un punto controversial, ya que a través de selección se ha logrado disminuir en gran medida su incidencia en los hatos lecheros. La dieta también influye en la presentación de quistes, ya que el consumo de dietas altas en proteína favorece el desarrollo de este padecimiento. Asimismo, se ha observado un incremento en la frecuencia de quistes en vacas que han tenido hipocalcemia, y en zonas donde los forrajes tienen altas concentraciones de estrógenos. La administración de estrógenos por vía parenteral durante la fase folicular del ciclo estral, ocasiona

la liberación de un pico prematuro de LH, cuando los folículos todavía no son lo suficientemente maduros para ovular, lo que conlleva a que ya no se presente el pico preovulatorio y se forme el quiste. Factores como los tratamientos superovulatorios, la estación del año (más frecuentes en el invierno), el desarrollo de infecciones uterinas debido a la presencia de endotoxinas en el útero y el incremento en la secreción de cortisol y de PGF2 α , pueden influir en la presentación de los quistes. Finalmente, se ha observado que los quistes se presentan generalmente entre el segundo y el quinto parto, y son más comunes después de un parto gemelar y en vacas con edades entre 4.5 y 10 años.

Gracias a los estudios realizados mediante ultrasonografía, actualmente se ha podido demostrar que los quistes foliculares son estructuras dinámicas que pueden o no ejercer dominancia en el ovario. Así como sucede a lo largo del ciclo estral, durante la permanencia del quiste existen oleadas de crecimiento folicular que se caracterizan por el reclutamiento de pequeños folículos, seguidos por la selección de un folículo que puede o no llegar a ejercer dominancia, por lo que los quistes permanecen en el ovario por un largo periodo conservando la dominancia estructural y funcional (persistencia), o bien disminuyendo de tamaño o en algunos casos creciendo hasta ser reemplazados por una nueva estructura folicular de la que se desarrolla un nuevo quiste (recambio de la estructura quística). Finalmente, pueden ser reemplazados por un nuevo folículo que sí ovula (resolución espontánea). En algunas ocasiones los quistes foliculares se convierten en quistes luteinizados cuando las células de la teca interna o de la granulosa o ambas se luteinizan. Las oleadas de desarrollo folicular que se llevan a cabo en presencia de los quistes se caracterizan por presentar periodos de crecimiento más largos y de mayor variabilidad a los que ocurren durante los ciclos estrales normales.

Tanto los quistes foliculares como los luteinizados se forman debido a la falla ovulatoria de un folículo maduro. Esta falla en la ovulación se debe a la ausencia en el pico preovulatorio de LH. En el caso de los quistes lúteos, los niveles de LH no son lo bastante altos para ocasionar la ovulación; sin embargo, sí lo son para producir cierta luteinización en el folículo; esto sucede sólo cuando la teca interna y la granulosa son capaces de responder a la LH y llevar a cabo su luteinización. La causa fisiológica que conduce a la formación del quiste folicular es la falla del hipotálamo para estimular la secreción del pico preovulatorio de LH en respuesta al estradiol. Las vacas que desarrollarán quistes tienen niveles más altos de LH, el folículo preovulatorio secreta más estradiol y por periodos más largos. A pesar de los altos niveles de estradiol, la ovulación no ocurre. De manera que la falla responsable de la formación del quiste folicular es la incapacidad del estradiol

de estimular la secreción masiva de GnRH de los centros hipotalámicos responsables de la inducción del pico preovulatorio de LH. Aparentemente esta insensibilidad hipotalámica hacia el estradiol se debe a que el folículo secreta pequeñas cantidades de progesterona, hormona que normalmente no debería estar presente en esta parte del ciclo. Los niveles de progesterona en la circulación periférica, aun cuando son bajos, bloquean el pico preovulatorio de LH resultando en la formación del quiste.

Las vacas con quistes foliculares presentan generalmente estros frecuentes e irregulares (ninfomanía) y pueden presentar neumovagina, edema y prolapso de vagina; habrá salida de moco por la vagina, el cual será más grueso y de un color más opaco que el producido durante el estro. Si los animales ya tienen cierto tiempo con el quiste, se va a observar una relajación crónica de los ligamentos pélvicos, lo cual provocará que el maslo de la cola aparezca levantado, y mostrarán signos de masculinización, como cambios en el tono de la vocalización y el cuello encrespado. En el caso de los quistes luteinizados, el signo clínico más frecuente es el anestro. De manera práctica, el diagnóstico de quistes se basa en la evaluación de la tarjeta reproductiva y la palpación rectal, la presencia de ninfomanía, ciclos cortos e irregulares o anestro, en conjunto con la palpación de ovarios grandes, con estructuras redondas de más de 2.5 cm que generalmente no están acompañados de un cuerpo lúteo maduro, con tono uterino disminuido que semeja la etapa de diestro y cérvix aumentado de tamaño y flácido. El diagnóstico puede realizarse en un solo examen de palpación rectal, lo cual puede ser práctico pero no siempre preciso, ya que el tamaño de los quistes no es por sí solo un criterio absoluto, además de que pueden cambiar su tamaño en determinado momento; para disminuir la probabilidad de error, habrá que realizar dos exámenes con intervalos de 7-10 días para diferenciarlo de otras estructuras.

A la palpación rectal, los quistes foliculares presentan pequeñas elevaciones redondeadas de paredes delgadas distendidas fácilmente rompibles, pueden ser uni o bilaterales, únicos o múltiples (es difícil diferenciar si es uno grande o varios pequeños) y pueden estar asociados con dilatación quística de las glándulas endometriales (figura 18.1). Por lo general los quistes lúteos son únicos y unilaterales, aunque pueden encontrarse combinaciones en donde se presenten uno o dos quistes lúteos; se cree que esto sucede cuando al momento de la ovulación han madurado más de dos folículos, siendo suficiente la LH presente sólo para producir la ovulación de uno de ellos, y por lo tanto los otros folículos pueden formar algún tipo de quiste. Los quistes lúteos contienen líquido ámbar más espeso que el de los quistes foliculares y presentan paredes más gruesas, debido principalmente a que

tienen una mayor cantidad de tejido luteinizado (figura 18.2). Las vacas con quistes lúteos pueden presentar hidrómetra o mucómetra unilateral o sólo en una porción del cuerno uterino. El diagnóstico diferencial entre quistes foliculares y lúteos mediante la palpación rectal es poco preciso aunque lo realicen palpadores expertos. El uso del ultrasonido permite mejorar la precisión aunque tampoco llega a ser absoluta y además se tiene la limitante del precio a nivel práctico. El diagnóstico para determinar si los quistes son foliculares o lúteos no es una tarea fácil, aunada a que los quistes son estructuras dinámicas que pueden pasar de ser foliculares a lúteos progresivamente, y a que pueden presentarse estructuras morfológicas no funcionales que se pueden confundir a la palpación rectal y aun en la ultrasonografía, ya que en algunos casos pueden existir zonas ecogénicas que tienen similitud con el tejido lúteo pero que no secretan progesterona. Los quistes foliculares se observan en el ultrasonido como estructuras no ecogénicas que tienen paredes delgadas (2.5 mm), y los quistes lúteos son estructuras ecogénicas con paredes más gruesas (5 mm). Las concentraciones de estrógenos en las vacas con quistes son variables, ya que pueden ser superiores o inferiores a las concentraciones encontradas en vacas normales y por tal motivo no se utilizan como método de diagnóstico. La medición de las concentraciones de progesterona en plasma sí permite diferenciar los quistes con una eficiencia de 80 a 90%. Los quistes luteinizados producen > 1 ng/ml de progesterona y los quistes foliculares producen < 1 ng/ml de progesterona. La manera más exacta de diferenciar el tipo de quiste es mediante el uso de ultrasonido en conjunto con mediciones de la concentración de progesterona alcanzando 92% de precisión para diagnosticar quistes foliculares y 82% para quistes lúteos.

Es difícil determinar el punto económico ideal para iniciar el tratamiento, debido a que los quistes provocan un aumento en los días abiertos, pero se sabe que 20% de las vacas sana espontáneamente cuando los quistes se presentan después de la primera ovulación postparto. Considerando que la producción de leche y el número de lactancia son de los factores de mayor riesgo en cuanto a la presentación de quistes, en las vacas multíparas se sugiere iniciar el tratamiento en el postparto temprano y en las primíparas después del tiempo en el que deberían recibir el primer servicio postparto para dar la oportunidad de que se recuperen espontáneamente.

En la clínica reproductiva se han tratado los quistes luteinizados directamente con una dosis de $\text{PgF}_{2\alpha}$, pero no ha resultado muy efectivo debido a que es difícil diagnosticar el grado de luteinización por palpación rectal y es probable que cuando se aplique el tratamiento el quiste no esté totalmente luteinizado y el tratamiento sea inefectivo, resultando en la aplicación de 2 o 3 dosis de prostaglandinas consecutivas, por lo que debido a la dificultad del diagnós-

tico diferencial entre los tipos de quistes, la mejor opción es tratarlos indistintamente.

La hCG (gonadotropina coriónica humana) ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de los quistes, ya que es capaz de unirse a los receptores de LH del folículo, provocando la luteinización de las paredes del folículo, sufriendo posteriormente luteólisis de manera natural. La gonadotropina coriónica en dosis altas (5,000 a 10,000 UI) aplicadas por vía intravenosa o intramuscular como dosis única, logra resolver el problema en 80% de las vacas; en algunos casos será necesaria una segunda o tercera dosis antes de que el quiste ceda. Las vacas en las que haya sido efectivo el tratamiento, presentarán un ciclo normal entre 20 y 30 días postratamiento.

Con la utilización del GnRH se obtiene una respuesta fisiológica de liberación de LH por la adenohipófisis; el pico de LH se alcanza dos horas después de la inyección; la administración de 100 a 250 mg provocará la luteinización del quiste y una dosis de 0.5 a 1.5 mg provocará la ovulación del folículo dominante del ovario que tiene el quiste.

Si se desea acortar el periodo entre el tratamiento y la aparición de los signos de celo, se pueden realizar tratamientos basados en la aplicación de GnRH o hCG seguidos de una dosis de 25 mg de PgF2 α por vía intramuscular de 9 a 14 días después. Considerando que el quiste ya luteinizado se comporte como un cuerpo lúteo normal, la aplicación de dicho tratamien-

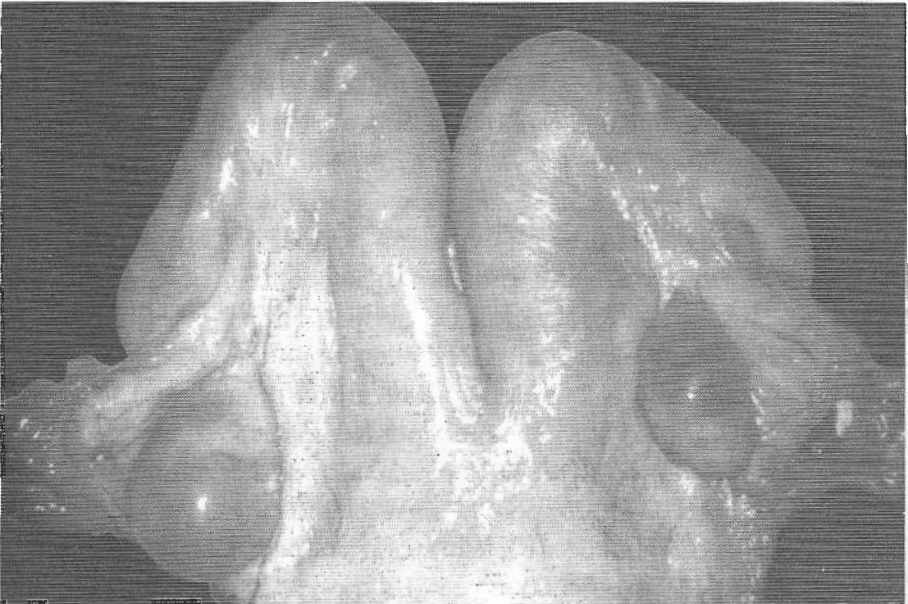


Figura 18.1. Quiste folicular bilateral múltiple en el bovino, mostrando el excesivo diámetro de los folículos quísticos presentes (cortesía Drost Project, Universidad de Florida).

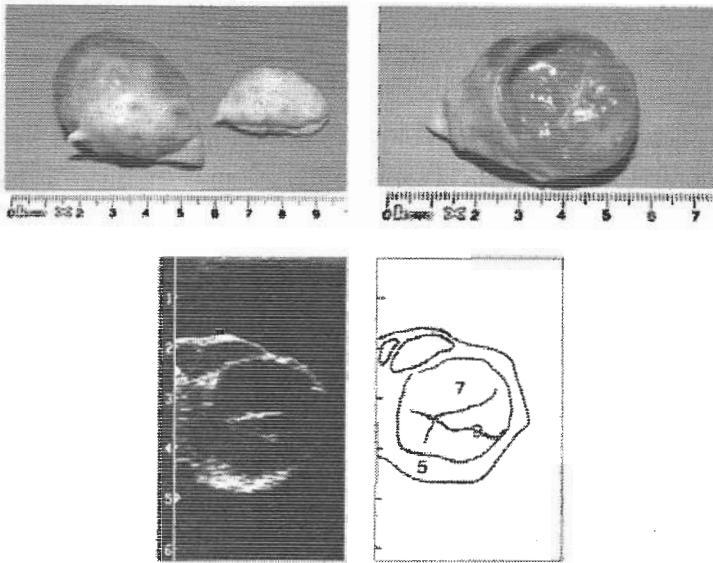


Figura 18.2. Quiste luteinizado en el bovino. En la parte superior izquierda de la fotografía se observa el tamaño del ovario. En la parte derecha, el ovario disecado, donde se nota el grosor de la pared del quiste. En la parte inferior se muestra el ultrasonido del ovario y su esquema (cortesía Drost Project, Universidad de Florida).

to inducirá de forma prematura la luteólisis, apareciendo el celo entre 48 y 60 horas postratamiento, obteniendo la misma fertilidad que al aplicar GnRH o hCG únicamente.

Actualmente se han utilizado tratamientos que consideran la dinámica folicular de los quistes, con los que se ha logrado su resolución mediante la ovulación de un folículo de nueva formación. En dichos tratamientos se aplica una dosis de GnRH seguida de la administración de un progestágeno o de progesterona natural (sin estradiol) por un periodo de 9 a 12 días, seguido de una dosis de $\text{PgF2}\alpha$ poco antes del retiro del implante o dispositivo. También se han diseñado tratamientos con la finalidad de resolver los quistes y al mismo tiempo sincronizar los celos, provocando que ovule un folículo de nueva formación y se insemine a las vacas a tiempo fijo administrando 100 mg de GnRH con 500 mg de cloprostenol en el primer día de tratamiento, 500 mg de cloprostenol 14 días después y 100 mg de GnRH a las 32 horas de la segunda aplicación de cloprostenol. La inseminación se practica a tiempo fijo 24 horas después de la última aplicación. Con este tratamiento se ha logrado reducir la persistencia de los quistes con porcentajes de fertilidad similares a los de las vacas que no presentan quistes.

La administración del dispositivo de liberación controlada de progesterona (CIDR) durante 14 días, ha sido exitosamente utilizada en el tratamiento de vacas superovuladas con quistes. La ruptura manual era una práctica que

se realizaba antiguamente y en la actualidad está totalmente contraindicada, debido al peligro de que produzcan hemorragias y, por lo tanto, de adherencias.

La aplicación de GnRH en el postparto temprano (12-14) ha mostrado un decremento en la incidencia de quistes, además de mejorar la fertilidad, aunque hay limitaciones debido al costo beneficio al considerar la baja incidencia de la patología y a que algunos animales sanan de forma espontánea.

La selección de hijas de vacas que tuvieron baja incidencia de quistes es otra forma por la cual se puede reducir esta patología, aunque suele ser problemático debido a que por lo general la alta incidencia de quistes se presenta comúnmente en las vacas más productoras, las cuales heredan estas mismas características a sus hijas, por lo que sería más fácil realizar una selección de sementales cuyas hijas tengan una menor incidencia de quistes, ya que por medio de este sistema se ha logrado disminuir en algunos países de 10 a 3% la incidencia.

18.2.2. Cuerpo lúteo quístico o cavitario

El cuerpo lúteo quístico, a diferencia de los otros dos tipos de quistes, resulta de un folículo en el que sí hubo ovulación pero nunca llegó a luteinizarse por completo. Dentro de este cuerpo lúteo hay una cavidad de unos 7 a 10 mm.

A la palpación rectal presentará casi todas las características de un cuerpo lúteo normal, excepto que en algunas ocasiones se siente una pequeña fluctuación en su interior, debido a la acumulación de líquido. Al ser evaluado mediante ultrasonografía, se observará una pequeña zona ecogénica, que corresponderá al área no luteinizada. La producción de progesterona de este cuerpo lúteo es menor que la de un cuerpo lúteo normal, pero suficiente para mantener la gestación. Los cuerpos lúteos quísticos no se consideran patológicos, ya que derivan de un folículo con ovulación normal y no producen alteración alguna en el ciclo estral, ni durante la gestación. El cuerpo lúteo quístico tiene una incidencia de 30 a 40% en bovinos y también se ha reportado en la oveja y la cabra.

18.2.3. Quistes ováricos en otras especies

En la cerda los quistes ováricos se encuentran generalmente como hallazgos al examen *post mortem*. Ocurren tanto en la cerda gestante como en la no gestante, y algunos de ellos no interfieren en el comportamiento sexual y la fertilidad. En esta especie se han observado tanto quistes foliculares como luteínicos.

Los quistes múltiples de gran tamaño (5 cm) causan anestro o ciclos cortos e irregulares de 8 a 9 días y, por lo mismo, infertilidad; el quiste único al parecer no causa problemas de fertilidad, su tamaño es de 2 a 3 cm y generalmente se trata de un folículo en el que no hubo ovulación.

Los quistes luteínicos grandes son del tipo encontrado con mayor frecuencia en la cerda; su tamaño puede llegar a ser de 2 a 10 cm y su pared puede estar parcialmente luteinizada. En la cerda provoca ciclos de duración irregular con signos de estro más acentuados; la cerda no presenta ninfomanía, pero el clítoris puede estar ligeramente aumentado de tamaño.

La degeneración quística del ovario de la cerda se caracteriza por una gran cantidad de folículos pequeños, los cuales no alcanzan a madurar. Los quistes pueden ser diagnosticados mediante ultrasonido de imagen real, con un transductor de 7.5 MHz. Se observan como vesículas anecogénicas de entre 10-40 mm y generalmente son bilaterales y de pared delgada. El tratamiento de los quistes ováricos en esta especie no ha dado buenos resultados, pero su importancia clínica es mínima. En la yegua el quiste folicular no existe como tal; frecuentemente el gran tamaño de los folículos normales maduros, que puede llegar a ser hasta de 4 a 7 cm de diámetro, ocasiona que sean diagnosticados de manera errónea como quistes.

18.3. ALTERACIONES DEL ESTRO Y DE LA OVULACIÓN

18.3.1. Ovulación retardada

En esta patología la ovulación sucede de manera retardada afectando seriamente la fertilidad, debido a que altera la correcta sincronización entre los signos externos de estro y el momento de la ovulación. Se presenta con frecuencia en la oveja y en la yegua, principalmente al comienzo de la época de actividad reproductiva. En el bovino su incidencia es tan baja como 2 a 3% del total de los calores normales, pero puede presentarse repetidamente. En el bovino, la ovulación ocurre normalmente de 10 a 12 horas después de finalizado el estro, pero en estos casos se puede retrasar de 48 a 72 horas o más, por lo que el animal puede ya estar secretando moco con sangre. La alteración puede tener su origen en el hipotálamo o la adenohipófisis, retardando la liberación de hormona LH, lo que provoca la persistencia del folículo maduro por más tiempo de lo usual. Generalmente después de este tiempo, la ovulación sí ocurre, pero la fertilidad es muy baja, debido a que durante este tiempo probablemente haya disminuido el número de espermatozoides y/o su capacidad fertilizante por envejecimiento. La ovulación también puede retrasarse y hasta evitarse debido a la presencia de adherencias ováricas que impiden mecánicamente la ruptura del folículo maduro. Se ha

sugerido que las causas más comunes de la ovulación retardada son nutricionales y por predisposición hereditaria, y también se ha visto asociada con una alta producción láctea.

Para poder diagnosticar correctamente la patología en vacas, habrá que realizar dos palpaciones rectales, la primera al inicio del estro y la segunda entre 48 y 72 horas después. Habrá que considerar que, a pesar de que las vacas tengan la ovulación un día después de finalizado el celo, 65% de éstas serán capaces de quedar gestantes, mientras que solamente 36% de las vacas que ovulan dos días después de haber finalizado el celo quedan gestantes. Por lo tanto, se recomienda que si la vaca no ha ovulado 24 horas después del servicio, se reinsemine inmediatamente y se le aplique un tratamiento de GnRH o hCG.

Se ha utilizado la aplicación de GnRH al momento de la ovulación de manera preventiva, pero el problema es que nada permite suponer que una vaca va a presentar este problema, por lo que la prevención resulta muy costosa si se considera la baja incidencia. Además, en la práctica el GnRH se está aplicando al momento de la inseminación, es decir, 12 horas después del inicio del estro, y bajo este esquema el pico preovulatorio natural de LH ya ocurrió, aunado a que resulta ser de menor amplitud.

18.3.2. Atresia folicular

En las hembras de los mamíferos, el destino de la mayoría (99%) de los folículos presentes en sus ovarios es la degeneración o atresia, de tal forma que sólo una pequeña porción llega a la ovulación. La desaparición de los folículos por atresia se inicia desde la etapa fetal y continúa ininterrumpidamente durante la vida reproductiva de la hembra. La incidencia de atresia es mayor en folículos antrales. La atresia temprana se caracteriza por la presencia de picnosis, degeneración y desprendimiento de las células de la granulosa y cambios citoplásmicos, como vacuolización y fragmentación de la lámina basal. La atresia es parte de la dinámica folicular y por lo mismo no es una entidad patológica, como se había llegado a considerar antiguamente; simplemente se trata de folículos de las diferentes ondas de crecimiento. La identificación de un folículo desarrollado y su posterior desaparición es normal y forma parte del recambio folicular.

En el bovino el folículo que crece a la mitad del ciclo también sufre atresia folicular. En los ciclos estrales anovulatorios, el folículo maduro sufre una regresión al final del estro sin que ocurra su ruptura, debido principalmente a una disyunción del control endocrino de la ovulación. Su presentación no está muy estudiada en el ganado bovino y en ocasiones ocurre en algún ciclo estral. Se caracteriza porque no hay manifestaciones

externas de la falta de ovulación, sino solamente una baja en la fertilidad normal.

El diagnóstico se realiza por palpación rectal; la ausencia del cuerpo lúteo en el sitio del ovario donde se encontraba el folículo maduro del ciclo anterior, indica que la ovulación no se efectuó. Esta alteración endocrina se menciona con más frecuencia en el bovino productor de leche que en el productor de carne, sobre todo en animales con gran producción, y su mayor incidencia es en los meses de primavera.

18.3.3. Ovulación silenciosa, estros silenciosos o subestros

La ovulación que no va acompañada de signos de celo, es una condición en la cual la hembra presenta una ovulación normal sin manifestaciones externas de estro. En algunas ocasiones puede confundirse con un anestro verdadero, pero los casos de estros silenciosos suelen ser ocasionales, y en épocas determinadas de la vida reproductiva del animal.

Su incidencia varía mucho entre especies y razas de animales; en bovinos es más común en las vacas de las razas Cebú que en las razas europeas. La ovulación silenciosa es un evento normal en vaquillas que entran a la pubertad y en vacas durante su primer ciclo postparto. En vacas lecheras la primera ovulación ocurre en promedio 25 días antes de que se presente el primer celo. El 68% de las vacas muestran por lo menos un celo silencioso antes del primer estro. La incidencia de estros silenciosos entre los primeros 60 días postparto es de 44.3%, aunque en la mayoría de los casos se trata de estros no observados; su presentación es casi nula a partir de los 40 días postparto.

La falta de signos de estro en el primer calor postparto y en la primera ovulación de la pubertad, se cree que está relacionada con la falta de un cuerpo lúteo funcional y niveles de progesterona, tal y como ocurre en la oveja.

En vacas se ha visto asociado con gran producción de leche y con el amamantamiento en vacas productoras de carne, ovejas y yeguas; también se ha observado en yeguas vírgenes. Afecta principalmente a animales jóvenes y subalimentados, de ahí la importancia de mantener adecuados niveles nutricionales en la hembra antes y después del parto.

En bovinos la historia clínica muestra a un animal que tiene de 30 a 120 días postparto sin haber demostrado celos, pero a la palpación rectal se diagnostica la evidencia de ovulación (folículos grandes, cuerpos hemorrágicos o cuerpos lúteos); en ocasiones el útero presenta tono, puede presentar moco cristalino o moco con sangre, intervalos entre celos de 40 a 42 días también son sugestivos de que un celo no fue manifiesto.

La conducta homosexual en vacas es la forma más práctica de detectar celos, y de forma natural sólo 90% de las vacas muestran este comportamiento, además de que puede verse disminuido en vacas de alta jerarquía, y en establecimientos con pisos lisos y temperatura ambiental elevada. Para reducir su incidencia se pueden realizar palpaciones periódicas e inseminar a las vacas cuando exista tono uterino, presencia de moco cristalino y un folículo maduro en las vacas que ya tengan más de 40 días postparto, ya que como se mencionó anteriormente, la presencia de estros silenciosos a partir de los 40 días es casi nula.

Para reducir la incidencia de celos silenciosos se pueden utilizar programas de sincronización de celos mediante el uso de prostaglandinas o progestágenos acompañados de GnRH, que inducirán la presentación de celos y ovulaciones más uniformes.

18.3.3.1. Persistencia del cuerpo lúteo

La persistencia del cuerpo lúteo ocurre ocasionalmente en la oveja y se debe a una falla en la liberación de prostaglandina; como consecuencia, el ciclo estral puede extenderse.

En la vaca, el cuerpo lúteo persistente no existe como una entidad patológica. Su permanencia por un periodo mayor al normal puede deberse a alteraciones que impiden que las prostaglandinas lleguen al ovario que contiene el cuerpo lúteo (aplasia segmentaria o útero unicornio), o bien a alteraciones de la pared del endometrio que impiden que se secreten prostaglandinas, como es el caso en piómetra, maceración o momificación.

18.3.3.2. Pseudopreñez (falsa preñez)

El término pseudopreñez se ha aplicado a la fase lútea del ciclo ovárico, durante la cual el cuerpo lúteo produce progesterona (rata, coneja, gata y otras hembras). Sin embargo, la pseudopreñez en algunas especies domésticas presenta una sintomatología característica con implicaciones en el comportamiento reproductivo.

18.3.3.3. Pseudopreñez en caprinos (hidrómetra)

La pseudogestación en cabras se caracteriza por la prolongación de la función lútea y la interrupción en la presentación de ciclos estrales en ausencia de gestación. Esta alteración se acompaña de la acumulación de contenido uterino aséptico (hidrómetra) y persistencia del cuerpo lúteo. Ocurre independientemente de que la cabra haya recibido servicio en el último ciclo.

Algunos propietarios han observado que cabras supuestamente gestantes, con o sin distensión abdominal, al término natural de la condición

eliminan grandes volúmenes de líquidos, pero sin placenta o fetos. La incidencia de pseudopreñez varía entre 0 y 20%. Es más frecuente en cabras viejas y en hembras postparto paridas durante el otoño y que no han sido empadradas nuevamente, así como en hembras sometidas a sincronización del estro sin inclusión de prostaglandinas.

La etiología de la enfermedad se desconoce, aunque se ha asociado a ciertos agentes infecciosos, a la presencia de fitoestrógenos en el forraje y a diferentes tratamientos hormonales. Ciertas observaciones sugieren que existe una predisposición hereditaria.

El diagnóstico diferencial con gestación se puede realizar por medio de ultrasonido, en el cual el útero aparece inicialmente con fluidos que se parecen a una gestación temprana; más tarde los líquidos alcanzan las proporciones de una gestación, sin que se observen signos positivos de preñez, como son los placentomas o el feto.

El tratamiento de la hidrómetra con prostaglandinas provoca la regresión del cuerpo lúteo, el estro, la expulsión del contenido uterino (entre 3 y 5 días) y la involución uterina. Una segunda aplicación de prostaglandinas 12 días después de la expulsión del contenido uterino, reduce la recurrencia de la afección. El pronóstico en cuanto a la fertilidad futura es favorable.

18.4. ALTERACIONES HORMONALES DE LA GESTACIÓN

18.4.1. Celio durante la gestación

Con el establecimiento de la gestación se produce la interrupción del ciclo estral y el celo no vuelve a presentarse. Sin embargo, algunas hembras pueden mostrar signos claros de estro durante la preñez; el fenómeno se ha observado principalmente en vacas, aunque también ocurre en la cerda y la yegua.

En la vaca ocurre con mayor frecuencia durante el primer trimestre de la gestación, y en algunos animales los celos pueden llegar a repetirse. Por lo general, en el bovino se trata de signos externos de celo ocasionados por crecimiento folicular, no acompañados de la ovulación. El animal preñado que muestra celo debe ser examinado para verificar la gestación, pues de otra manera existe el peligro de que sea eliminado por considerarse no fértil o de que sea inseminado con el peligro de interrumpir la gestación por la introducción del catéter a través del cérvix.

18.4.1.1. Luteólisis prematura

En varias hembras domésticas se presentan ciclos de corta duración debidos a la regresión prematura del cuerpo lúteo. Si la hembra fue servida durante

el estro, la luteólisis prematura puede afectar la fertilidad al impedir el establecimiento de la gestación. En la oveja y la cabra, los ciclos cortos ocasionados por la regresión lútea prematura ocurren al inicio y al final de la estación reproductiva y después de la exposición al macho (efecto macho). En la oveja, la falta de una exposición previa a progesterona ocasiona que la primera ovulación puberal, estacional y postparto sea silenciosa y seguida de la regresión prematura del cuerpo lúteo.

La regresión prematura del cuerpo lúteo se debe a la liberación anticipada de PGF2 alfa.

La luteólisis prematura también se observa cuando se induce la ovulación con hCG o GnRH durante el anestro en cabras y ovejas sometidas a tratamientos superovulatorios.

En vaquillas, los ciclos cortos acompañados de la formación de un cuerpo lúteo de corta vida anteceden a la regularización de los ciclos estrales en la etapa puberal. En las vacas de ganado productor de carne también ocurren durante el reinicio de la actividad ovárica postparto.

18.4.2. Gestación prolongada

La gestación que tiene una duración mayor a la del promedio de la especie, puede deberse a defectos en la formación del feto que interfieren con el mecanismo del inicio del parto; en el bovino se ha observado en el ganado Ayrshire, Guernsey, Holstein, Freisian y Swedish Red, asociada a malformaciones fetales como: aplasia o hipoplasia de la adenohipófisis, ciclopía, microftalmía, hidrocefalia, anencefalia y ausencia o hipoplasia de las glándulas adrenales. Los fetos pueden ser de gran tamaño y peso. Generalmente el parto no tiene lugar hasta que el feto muere dentro del útero y en ocasiones debe ser extraído por medio de cesárea.

En la oveja se observó que las hembras de las montañas de Idaho, Estados Unidos, consumían durante el inicio de la gestación la hierba *Veratrum californicum* y tenían gestaciones prolongadas. La planta contiene un alcaloide con efectos teratogénicos, lo cual ocasionaba que el feto tuviera la cabeza mal formada (cara de mono), con ausencia de hipófisis y poco desarrollo de las glándulas adrenales. Estas observaciones hicieron pensar a ciertos investigadores que estos elementos podrían estar involucrados en el mecanismo de inicio del parto. Después, algunos experimentos demostraron que la cadena de eventos conducentes al parto se iniciaba en el hipotálamo fetal.

En la yegua es necesario tomar en cuenta que la duración de la gestación tiene rangos muy amplios (320-365 días), por lo que es difícil precisar cuándo

se trata de una gestación prolongada, aunado al hecho de que los potros de gestaciones largas son de tamaño y peso normal, sin malformaciones aparentes, por lo que se debe considerar que la gestación es prolongada si tiene una duración promedio de 370-387 días, lo cual sucede en 1% de los casos. Se debe corroborar que no existen errores en la fecha del servicio y en el cálculo de la fecha probable de parto. La inducción del parto está contraindicada si la yegua se encuentra saludable y con movimientos abdominales aparentes; si la yegua presenta abdomen demasiado abultado y deterioro en la condición corporal o crónica, debe realizarse un examen rectal para determinar el tamaño y viabilidad del producto, y efectuar un diagnóstico diferencial de torsión uterina.

18.4.2.1. Hidropesía de los envoltorios fetales

La hidropesía de los envoltorios fetales o de las membranas fetales es una alteración de la gestación. Se desarrolla generalmente entre el segundo y tercer tercio de la preñez. Su presentación en el ganado bovino es rara y se caracteriza por un aumento notable de la cavidad abdominal, producido por la acumulación de grandes cantidades de líquidos fetales, tanto en forma de hidroamnios, hidroalantoides, o bien mixto. Las causas de esta alteración son muy variadas y se han asociado a patologías de la madre, a defectos congénitos del feto o del intercambio electrolítico de la placenta. También afecta a la mujer, la oveja, la cabra y excepcionalmente a la cerda, la perra y la yegua. La enfermedad constituye un riesgo para la gestación, ya que el aumento de los líquidos fetales puede ser de hasta diez veces el volumen normal, pudiendo alcanzar la cantidad de 200 litros en la vaca, 8 litros en la cabra y 100 litros en la yegua.

En una región de Zacatecas, México, la afección presenta características endémicas en las vacas mantenidas en condiciones extensivas y provoca pérdidas económicas a causa de distocias, muerte del feto y de la madre e infertilidad.

La hidropesía de los envoltorios fetales ocurre frecuentemente también durante la gestación de embriones clonados, en la que existen alteraciones tanto del producto como en la formación, estructura y función de la placenta.

18.4.2.2. Aborto no infeccioso

18.4.2.2.1. Aborto en cabras

La cabra probablemente sea la especie más susceptible al aborto; además de la etiología de carácter infeccioso, el aborto se ha atribuido a otras causas.

18.4.2.2.2. Aborto habitual

En la cabra adulta de la raza Angora se ha descrito el llamado “aborto habitual”, el cual se presenta debido a la gran demanda metabólica que implica la producción alta de fibra fina (mohair), y es inducido por la intensa selección hacia esta característica.

Al aborto habitual también se le conoce como aborto hereditario, ya que las crías portadoras de esta característica —y que generalmente son las que tienen mayores ganancias de peso y mejor calidad de mohair—, permanecen en el rebaño como reproductoras.

Las hembras abortan hasta la edad de 4 a 5 años y ocurre aproximadamente a los 100 días de gestación debido a insuficiencia placentaria y alteraciones de la función adrenal.

18.4.2.2.3. Aborto caprino por desnutrición y estrés

En varios países del mundo ocurren ocasionalmente brotes de aborto no infeccioso en cabras. Se presentan tanto en cabras de razas lecheras como indígenas o criollas, y bajo condiciones extensivas o intensivas.

La causa del aborto se desconoce aunque se ha atribuido al estrés, a la mala nutrición, específicamente a la deficiencia de energía o proteína durante la gestación tardía, y a condiciones ambientales desfavorables.

En México, algunas observaciones de técnicos y propietarios de cabras mantenidas en condiciones extensivas sugieren que el alto índice de abortos se asocia a cambios ambientales abruptos caracterizados por descenso marcado de la temperatura, viento, lluvias o heladas. En cualquier caso, se ha establecido que el aumento en el nivel de cortisol es el evento primario que inicia el aborto.

18.5. ALTERACIONES HORMONALES DEL PARTO

18.5.1. Inercia uterina primaria

La inercia uterina primaria sucede cuando el parto es inminente y la parturienta no presenta contracciones uterinas o éstas son muy débiles; generalmente sucede durante la primera etapa del parto, aunque también puede presentarse ya iniciada la segunda etapa, por lo que no hay expulsión del producto. La inercia uterina primaria es menos frecuente que la secundaria. En la perra la inercia uterina equivale a 60% de las causas de distocia, y en la cerda equivale a 37% (presentándose una mayor incidencia en perras de las razas Dachshund y Aberdeen-Terrier). En las vacas la inercia uterina primaria representa

entre 5 y 15% de las causas de distocia y llega a presentarse muy rara vez en otras especies. Estas anomalías pueden ser hereditarias en perras de la raza Terrier escocés y en las vacas Ayrshire, en las que ocurren episodios repetidos en partos consecutivos.

Se desconoce exactamente el mecanismo hormonal que causa la ausencia de las contracciones uterinas durante el parto, pero se piensa que está relacionado con una falla en la regulación hipotalámica de la secreción de oxitocina y en su liberación hipofisiaria, lo que origina una deficiencia circulatoria de esta hormona, o a la incapacidad contráctil de la musculatura uterina para responder al estímulo de la oxitocina, aunada a posibles desbalances progesterona-estrógenos o de calcio. Se ha observado en animales emaciados, en hembras confinadas en locales de superficie reducida y sin ejercicio, y en hembras con enfermedades debilitantes o que afectan el estado general del animal. Asimismo se le ha asociado con el aborto tardío, parto gemelar, parto prematuro, las perturbaciones nerviosas alrededor del parto y con camadas anormalmente pequeñas. Estas anomalías, se ha demostrado, pueden ser hereditarias en perras de la raza Terrier escocés y en las vacas Ayrshire, en las que ocurren episodios repetidos en partos consecutivos.

El tratamiento debe aplicarse cuando se considere que la segunda etapa del parto no se desarrolla normalmente. En las vacas deben romperse las membranas placentarias y se realizará una extracción forzada, mientras que el tratamiento en perras dependerá del número de cachorros; si solamente es uno, está indicada la extracción manual, y si son más cachorros, se recomienda administrar la oxitocina sola o acompañada con estimulación digital. Este tratamiento ha logrado resolver hasta 10% de los casos de distocia; de no suceder la expulsión de los cachorros en 20 minutos después de la inyección, se debe realizar la cesárea. Otro tratamiento se basa en la aplicación de maleato de ergometrina; la administración de oxitocina y ergometrina, además de evitar hemorragias uterinas, acelera la expulsión de las membranas placentarias. En cerdas este problema se resolverá mediante la extracción manual de los productos y la administración de oxitócicos (ergometrina u oxitocina); de no ser posible, deberá realizarse la operación cesárea.

18.5.2. Dilatación incompleta del cérvix

La dilatación incompleta del cérvix es una de las principales causas de distocia en ganado especializado en la producción de leche (9% del total de distocias); y en ovinos esta patología es la causa de 15 a 32% de las distocias; en ovinos también se llama contracción anular. En equinos apenas representa alrededor de 4% de las causas de distocia. Se sospecha de dilatación incompleta del cérvix cuando se alarga la segunda etapa del parto y no tiene lugar la expulsión

del producto; se observa que las hembras presentan dolores de parto débiles y pasajeros. Al examinar manualmente el cuello uterino de hembras con esta patología, se aprecia un anillo de unos 5 cm de diámetro en vacas y de 1 a 2 cm en borregas, por lo que resulta claro que la extracción forzada resultaría en graves desgarros; en algunos casos el saco amniótico puede observarse en la vagina o a través de la vulva; la presencia de líquido amniótico podría darnos una idea del tiempo que lleva el animal en trabajo de parto para establecer el diagnóstico, aunque podemos caer en errores, pero si se observa dilatación incompleta de cérvix con descarga fétida, no habrá duda del diagnóstico. En el caso de diagnosticar esta patología, es conveniente esperar unas horas antes de decidirse por algún tipo de intervención quirúrgica, con la finalidad de que se dilate el cérvix, lo cual puede también hacerse por masaje manual.

La dilatación del cérvix durante el parto se debe a cambios en las características físicas de la colágena cervical "maduración", la cual tiene lugar después de iniciadas las contracciones y permite que el cuello se ablande y se haga más distensible, facilitando la dilatación gradual del cérvix. Las hormonas que intervienen en el proceso de dilatación del cérvix son los estrógenos y quizá la relaxina, la PGF2 α y la oxitocina al inicio del parto, pero su acción específica en el proceso no está perfectamente estudiada. Comúnmente la dilatación incompleta de cérvix se ha visto asociada con prolapsos vaginales previos al parto; asimismo se ha asociado a consumo de fitoestrógenos durante la gestación, por lo que se cree que tiene su origen en una mala preparación de la parturienta.

18.6. LITERATURA RECOMENDADA

- Arthur, G.H. 1975. *Veterinary reproduction and obstetrics*. 4a. ed., Baillere Tindall, Londres.
- Ashmawy, A.A., Vogt, D.W., Youngquist, R.S., y Garverick, H.A. 1990. *Heritability of liability to cyst ovary development in Holstein cattle*. J. Hered 81:165.
- Azawi, O.T. 2000. *Hormonal treatment of anestrus and subestrus in Iraqi cows*. Iraqi. J Vet Sci 13:193.
- Bretzlaff, K.N., Romano, J.E. 2001. *Advanced reproductive techniques in goats*. Vet Clin N America Food Anim Practice 17:421.
- Calder, D.M., Brent, E.B., BagnaBao, Youngquist, S.R., y Garverick, H.A. 1999. *Administration of progesterone to cows with ovarian follicular cysts results in a reduction in mean LH and LH pulse frequency and initiates ovulatory follicular growth*. J Anim Sci 77:3037.

20. BOVINOS PRODUCTORES DE LECHE

DANIEL CAVESTANY / CARLOS GALINA

- 20.1. INTRODUCCIÓN
- 20.2. PROGRAMAS DE MANEJO REPRODUCTIVO
- 20.3. LINEAMIENTOS PARA LLEVAR A CABO UN MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO
- 20.4. LITERATURA RECOMENDADA

20.1. INTRODUCCIÓN

20.1.1. Sistemas de producción de leche

Los sistemas de producción lechera en el mundo varían desde los extensivos pastoriles hasta los intensivos estabulados, dependiendo del clima, la disponibilidad de los recursos naturales y la relación insumo-producto. Así, en regiones con buena relación costo-beneficio, la producción lechera se realiza en sistemas de estabulación total o semi-estabulación. En estas modalidades, los recursos forrajeros no son generalmente un factor limitante y a la vaca se le ofrece 100% de sus requerimientos en términos de materia seca y nutrientes. Esto está asociado a una maximización de la producción de leche por vaca (8000 litros por lactancia o más). Estos sistemas de producción de leche se encuentran en regiones de climas fríos y en algunas zonas de tipo desértico en Latinoamérica, como el norte de México, y están generalmente asociados con técnicas de alimentación de cero pastoreo sobre la base de insumos con altos niveles de energía y proteína. Los animales explotados en estos sistemas están sometidos a un considerable estrés de producción que se refleja en dificultades para quedar gestantes.

En contraste, en regiones donde los recursos naturales son más abundantes (por lo menos en parte del año), éstos se utilizan en mayor proporción en la alimentación de la vaca lechera. En estos casos, la producción lechera es básicamente pastoril, con determinado uso de suplementos (heno, silo, concentrados) según la región y los costos. En Nueva Zelanda, por ejemplo, el principal país exportador de lácteos del mundo, la lechería se realiza básicamente en pastoreo, sin la utilización de concentrados, y con

escaso o nulo uso de heno o ensilaje. En esta situación, la producción de leche por vaca es menor (3500 litros por año) y los animales no están generalmente sometidos a un estrés productivo que pueda afectar los procesos reproductivos. En climas templados o subtropicales, como en el Cono Sur de América o el sur de Australia, donde además de los recursos de pasturas existe disponibilidad de granos a precios accesibles, la situación es diferente, lo que se refleja en producciones intermedias (entre 4000 y 6500 litros anuales) e índices reproductivos también intermedios.

En los últimos 20 años, en situaciones de producción con pastoreo restringido y suplementación con concentrados, la producción de leche por vaca-masa (vaca adulta en ordeña + vaca adulta seca) y por año se ha triplicado, a la vez que la producción por hectárea ha aumentado en casi diez veces en el mismo periodo. Estos cambios se deben a una mejor utilización de los recursos naturales mediante esquemas de rotación e implementación de pasturas mejoradas, lo que permite aumentar la producción

Cuadro 20.1. Cambios tecnológicos en la lechería

MODELOS	EXTENSIVO	MEJORA	ORGANIZADO	CONTROLADO	AVANZADO
Rotación	No	No	Sí	Sí	Sí
% Pasturas artificiales	9	50	60	60	60
MS ¹ / Ha	Muy	Media	Alta	Máximo	Máximo
Ensilaje	No	Baja	Alto	Alto	Alto
Heno	Muy	Alta	Bajo	Muy	Nada
Conc. ²	660	420	670	1200	1600
Conc. (kg / ha)	231	252	469	1200	1712
Dotación	0,3	0,5	0,7	1,0	1,1
Leche (l / VM ³)	2200	3800	4500	4700	6315
Leche (l / ha)	760	2000	3100	4700	6700
Época de parición	Continuo	Variable	Otoño 50%	Otoño 50 %	Otoño
Tipo Se	Tor	Tor	Toro	IA	IA
IEP ⁴ (meses)	18	16	14	13	13
Edad al 1er. servicio ⁵	36	18-24	18-24	18	15

¹ MS: materia seca

² CONC: Concentrado

³ VM: vaca masa (todas las vacas adultas, en ordeña + secas)

⁴ IEP: intervalo entre partos

⁵ Meses

Fuente: Durán, 1996.

de materia seca (**MS**) por hectárea. Los esquemas de alimentación también han cambiado, principalmente debido a un incremento de casi tres veces en la utilización de concentrados, aumento de alimentos ensilados y uso estratégico de heno, permitiendo casi cuadruplicar la cantidad de animales por unidad de superficie. Al mismo tiempo, se han modificado los esquemas de manejo reproductivo, pasando de servicio natural al uso de inseminación artificial (**IA**) y restringiendo la época de servicios de continua (anual) a biestacional (otoño y primavera) o estacional (otoño). Desde el punto de vista del manejo reproductivo, estos cambios requieren de una necesidad de maximizar la eficiencia reproductiva, ya que el objetivo es concentrar el periodo de parición mediante una concentración del periodo de servicios (cuadro 20.1). A los modelos descritos se les asignó arbitrariamente un nombre para identificar y cuantificar el grado de cambio tecnológico. El modelo extensivo fue el tradicional de la producción lechera de hace más de veinte años, y el mejorado incorpora las primeras tecnologías relacionadas con un esquema productivo planificado.

20.1.2. Eficiencia reproductiva

La eficiencia reproductiva se puede definir como una *medida del logro biológico neto de toda la actividad reproductiva*, que representa *el efecto integrado de todos los factores involucrados: estro, ovulación, fertilización, gestación y parto*. El objetivo primordial de los procedimientos de manejo reproductivo debe ser optimizar la eficiencia del hato, y este objetivo sólo puede lograrse a través de un examen ginecológico postparto (**PP**) y tratamiento de posibles alteraciones, eficiente detección de calores, servicio temprano y sincronización de estros. Los parámetros de fertilidad más importantes son: porcentaje de preñez al primer servicio, número de servicios por concepción e intervalo parto a concepción.

En los sistemas pastoriles de producción lechera, las pariciones son generalmente estacionales, así como los periodos de servicios, en coincidencia con las máximas ofertas forrajeras. Éstas se planifican con épocas de empadre de menos de 100 días en otoño/invierno y/o primavera/verano. Con estos cortos periodos de servicios, es necesario maximizar el porcentaje de preñez (*porcentaje de detección de celos por porcentaje de concepción en un periodo de 21 días*), y esto solamente se puede lograr mediante un buen programa de manejo reproductivo. Al ser la duración de la gestación prácticamente constante, el intervalo parto a concepción (días abiertos) determina la duración del intervalo entre partos (**IEP**). La meta entonces es lograr un IEP de 12 meses.

Las pérdidas económicas por un intervalo postparto prolongado se deben a periodos secos largos o a lactancias prolongadas, cuando el promedio de producción de leche por día es sensiblemente menor.

20.1.3. Reinicio de la actividad ovárica

20.1.3.1. Importancia

El rápido restablecimiento de la actividad ovárica normal luego del parto, es indispensable para maximizar la eficiencia reproductiva. Para lograr esto es esencial la ocurrencia de por lo menos una ovulación seguida de un diestro de duración normal.

En ausencia de la inhibición provocada por el amamantamiento, la actividad ovárica postparto (**AOPP**) en bovinos productores de leche comienza entre los 7 y los 10 días postparto (**DPP**), y es irregular en los primeros 20 **DPP**, resultando en ciclos cortos o celos no observados. Esto se debe a los complejos cambios hormonales que ocurren durante el parto, por lo que las interrelaciones hormonales no se normalizan hasta después de los 20 **DPP**.

20.1.3.1.1. Fisiología del anestro postparto

El anestro es simplemente la ausencia de síntomas de estro. Esto implica una demora en el reinicio de la actividad ovárica **PP** (anestro preservicio) o fallas en la detección de celo en vacas ciclando (anestro postservicio). Es importante hacer la distinción entre un ovario inactivo y uno activo pero anovulatorio, en el cual se desarrollan folículos que adquieren dominancia pero no llegan a ovular. La primera situación ocurre en vacas amamantando o en vacas productoras de leche en condiciones alimenticias extremadamente insuficientes, en las cuales el único tratamiento posible es mejorar la alimentación. En la segunda situación, los tratamientos de inducción de actividad ovárica tienen mayores probabilidades de éxito.

El crecimiento folicular (proceso de continuo crecimiento y regresión de folículos antrales) depende de la secreción de LH, y está afectado durante el **PP** temprano por el balance energético negativo. Un folículo primordial demora más de 20 días en transformarse en un folículo primario, otros 10 días en alcanzar el tamaño de folículo preantral, 10 días más para convertirse en antral (menos de 4 mm de diámetro) y 40 días para alcanzar el diámetro de un folículo de de Graaf. Esto implica que se requiere un periodo de 80 a 100 días para que un folículo activado alcance el tamaño ovulatorio. Debido a que los factores metabólicos pueden influenciar el desarrollo folicular temprano (de preantral en adelante), es posible que cambios en el

metabolismo del balance energético (**BE**) durante el **PP** puedan influenciar la población de esos folículos destinados a ovular semanas más tarde durante el periodo de servicios. Varios investigadores han determinado que la población folicular durante el **PP** temprano depende de la dieta y el control que ésta pueda ejercer sobre el balance energético negativo. Si el número de folículos preantrales disminuye en ese momento, puede implicar que la reposición de la reserva de estos folículos no pueda mantenerse si el balance energético negativo se prolonga demasiado. Esto tiene a su vez implicaciones en los resultados obtenidos cuando se intenta aplicar tratamientos para anestro que incluyen reclutamiento y maduración folicular en esas condiciones. Se ha desarrollado una ecuación que explica el intervalo a la primera ovulación en función de los días hasta alcanzar el punto más bajo del balance energético (nadir):

$$\text{Días a la 1ª. Ovulación} = 10.4 + (1.2 \times \text{días al nadir})$$

Por lo tanto, si por ejemplo el nadir del **BE** se produce a los 20 días, el intervalo será de aproximadamente 34 días.

Un **BE** negativo causa un efecto inhibitorio del estradiol sobre la secreción de GnRH, lo que a su vez se traduce en una disminución de los pulsos de LH y en una disminución del crecimiento folicular. Si el folículo pudiera alcanzar un mayor tamaño, podría lograr un pico de GnRH y de LH y podría ocurrir la ovulación.

20.1.3.1.2. Factores que afectan el reinicio de la actividad ovárica

Alimentación. La alimentación es uno de los principales factores que pueden causar demoras en el reinicio de la actividad ovárica **PP**. En condiciones de pastoreo, cuando la oferta de alimentos se hace extremadamente insuficiente por factores generalmente climáticos, la actividad ovárica disminuye hasta impedir el crecimiento folicular más allá de un diámetro de 4 mm. Durante el **PP** temprano ocurren importantes cambios en el balance energético (**BE**). Las vacas en producción pasan por un periodo de **BE** negativo al comienzo del periodo de la lactancia, dado que la capacidad de producción de la glándula mamaria aumenta a un ritmo más rápido que el potencial del animal para consumir alimentos. Más aún, para proveer la energía necesaria y los sustratos para la producción de leche a la glándula mamaria, ocurre un proceso de homeorresis (partición de nutrientes orientados a una meta), y en este caso la meta es la producción de leche, por lo que los nutrientes son desviados desde otros órganos y tejidos hacia la glándula mamaria. Los cambios visibles son la pérdida de la grasa corporal y consecuentemente disminución del peso y la condición corporal. Este balance energético negativo

interfiere con el patrón normal de secreción pulsátil de LH y limita la receptividad del ovario a la estimulación gonadotrópica. En esta situación, entre el parto y los 60 días posteriores (cuando se debe servir al animal) se registra una importante pérdida de la condición corporal que afecta negativamente la actividad ovárica.

Producción de leche. Se ha postulado que la alta producción de leche afecta la **AOPP** y vacas de alta producción tienen un intervalo más prolongado a la primera ovulación; sin embargo, este efecto tiene opiniones encontradas entre los investigadores. Estos hallazgos contradictorios pueden ser causados por la variabilidad existente en distintos sistemas de producción, con diferentes condiciones de alimentación y niveles de producción de leche.

Condición corporal al parto. La condición corporal es un método subjetivo para determinar la cantidad de energía metabolizable almacenada en la grasa y músculo (reservas corporales) de un animal vivo. Es además un método rápido y barato y no está afectado por el estado fisiológico del animal (gestación), el nivel de contenido ruminal y el tamaño o raza de las vacas. Luego del parto, y a consecuencia del proceso de homeorresis, se produce una disminución de la condición corporal. En condiciones de estabulación y alimentación controlada, las variaciones en la condición corporal desde del parto hasta el pico de producción de leche están directamente relacionadas a ésta y al balance energético **PP**. En sistemas pastoriles las vacas no ingieren el 100% de los requerimientos nutricionales en términos de materia seca, por lo que las pérdidas de reservas corporales están más relacionadas con la disponibilidad y calidad de las pasturas que con la producción en sí. La condición corporal afecta algunas variables productivas, ya que las vacas que llegan al parto muy delgadas tienen una menor producción de leche y menor eficiencia reproductiva, lo que también parece demorar el reinicio de la actividad ovárica.

Infecciones uterinas. El proceso de involución uterina está demorado por procesos patológicos del útero a consecuencia del parto. Hembras con puerperios anormales tienen un intervalo más largo a la primera ovulación (15 vs 34 días), así como una menor concepción al primer servicio

Paridad. La edad de los animales afecta el reinicio de la actividad ovárica, ya que vacas de primer parto tienen un intervalo más largo a la primera ovulación, sin embargo se han encontrado diferencias entre vacas adultas o vaquillas de primer parto. Este anestro es más común en vacas de primer parto, principalmente en condiciones pastoriles, en las cuales el periodo de balance energético negativo puede extenderse más, ya que estos animales

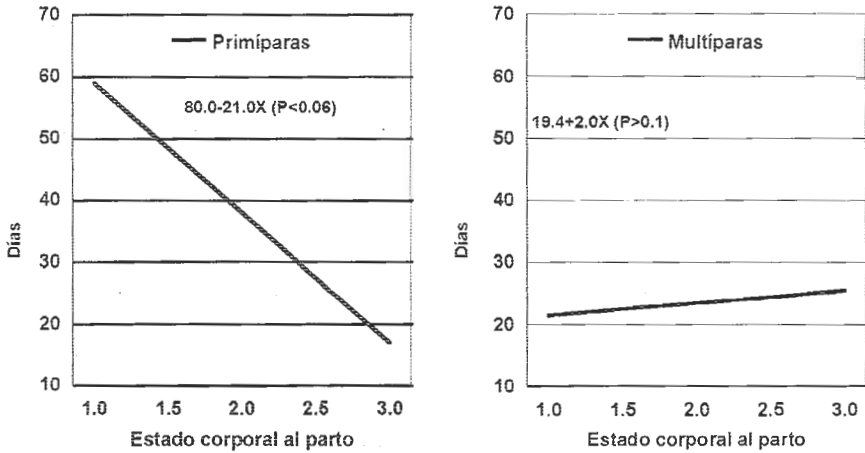


Figura 20.1. Relación entre la condición corporal al parto y el intervalo parto a primera ovulación en vacas primíparas y multíparas
Fuente: Cavestany y col. 2001.

tienen mayor dificultad para mantener su condición corporal por tener que seguir creciendo, deben soportar el estrés del parto y generalmente competir con vacas adultas por alimento en el potrero.

La paridad afecta el reinicio de la actividad ovárica postparto, ya que las vaquillonas de primer parto, además de los requerimientos para producción de leche, deben destinar nutrientes para completar su desarrollo corporal (figura 20.1).

20.1.3.2. Detección de estros

La falla en detectar las vacas en estro es probablemente el factor más importante que determina la incidencia real de los “estros silenciosos”, ya que más vacas en estro son captadas cuando se realiza un programa de detección intensiva de estros. Para detectar éstos exitosamente, además de la habilidad para reconocer sus múltiples signos, se debe dedicar suficiente tiempo a la observación de los animales. En un estudio donde se estuvieron observando las vacas las 24 horas del día con un sistema de circuito cerrado de televisión, se encontró que la primera ovulación postparto se acompañaba de sintomatología de celo solamente en 50% de los casos. La segunda ovulación era precedida por manifestaciones de estro en 94% de las vacas, y la tercera en 100%. Los porcentajes de celos detectados en esas vacas por observación dos veces por día fueron 20, 44 y 64% para la primera, segunda y tercera ovulación, respectivamente. Como la detección de celos se realiza generalmente dentro de un programa de inseminación artificial, se puede también definir la eficiencia de la detección de celos como la **eficiencia del servicio**, es decir, *el número de vacas servidas en un periodo de 21 días,*

expresado como un porcentaje del número de vacas elegibles para el servicio al comienzo del periodo.

En una revisión sobre los factores que afectan los resultados de la inseminación artificial en bovinos productores de leche, se define la **eficiencia de la detección de celos** como *el porcentaje de vacas en estro que son detectadas en estro* y la **precisión de la detección de estros** como *el porcentaje de vacas detectadas en estro que realmente están en estro*. Entre los factores que afectan la eficiencia de la detección de celos se enumeran:

1. El tiempo dedicado a la observación de los animales.
2. El horario en que se realiza.
3. El cabal conocimiento de los signos de celo.
4. Las características físicas del área donde se realiza la detección de calores.
5. Responsabilidad y motivación que tengan las personas encargadas de la tarea.

De los cinco puntos mencionados, a excepción del 4 todos están relacionados de manera directa con factores humanos.

Otra definición para evaluar la eficiencia de la detección de celos es la que se define como *el número de vacas, observadas, registradas y reportadas en estro, dividido entre un número calculado de estros que debieran ocurrir en un periodo dado, y multiplicado por 100*. También se puede puntualizar a la precisión en la detección de estros como *el porcentaje de estros observados que son realmente estros*.

La investigación sobre detección de celo y los métodos auxiliares para mejorar la precisión y el número de animales detectados han sido abundantes en los últimos 40 años. Estos trabajos afirman que el método más preciso es la detección visual; sin embargo, debido a la multiplicidad de funciones del personal de una finca y, por ende, al escaso tiempo que tienen los observadores para detectar celos, se han diseñado varios métodos, como el parche "Kamar", que se adhiere a la zona lumbo-sacra de la vaca y contiene una cápsula blanca con pintura roja que se rompe por la presión de la monta cambiando el color del parche. Una opción más económica aprovechando el mismo principio de que los animales en celo se dejan montar, es la pintura de esa zona con esmalte sintético comercial. Otros métodos de ayuda incluyen la introducción de animales androgenizados o toros con arneses marcadores. La resistencia eléctrica del mucus vaginal disminuye durante el estro, y esto se ha intentado utilizar como ayuda para la detección de celos, pero las variaciones individuales vuelven el método poco práctico en condiciones comerciales. Otro sistema de ayuda para la detección de celos que

considera la mayor actividad de las vacas en ese estado fisiológico son los podómetros, que se colocan en un miembro de la vaca y miden los pasos por unidad de tiempo. Más recientemente se ha desarrollado un método radiotelemétrico para la detección de montas que consiste en un sensor operado por una batería que se adhiere con un parche a la zona lumbar de la vaca. Una antena recoge la señal y la envía a una computadora que las registra mediante un programa especialmente diseñado. Este sistema es quizás el más efectivo para la detección de celos, ya que utiliza el síntoma principal de los mismos que es la aceptación de la monta.

A excepción de Nueva Zelanda, donde aparentemente más del 80% de los estros son detectados, todos los trabajos que han cuantificado la eficiencia de la detección de estros muestran porcentajes muy bajos, entre 43-52%. Mejores resultados se han encontrado sobre la base de la elaboración de una escala con los distintos signos de estro y mayores periodos diarios de observación. Con esta metodología se ha podido detectar hasta 74% de las vacas en estro. No obstante, en América Latina las condiciones actuales sólo permiten la detección de estros en no más de 40% de las vacas.

La eficiencia de la detección de estros también se puede estimar mediante los intervalos interestrales, los cuales también se clasifican dentro de determinados rangos. Sobre esta base, una buena eficiencia estaría dada por una relación de 7:1 entre intervalos normales (17 a 24 días) y anormales, sean éstos más cortos (< 17 días) o más largos (25-35 días, 36-48 días, > 49 días). También se puede calcular la eficiencia dividiendo 21 entre el promedio de todos los intervalos interestrales de un hato en un periodo determinado y multiplicándolo por 100. El diseño de tantas maneras de calcular la eficiencia en la detección de estros ejemplifica por sí mismo la importancia del problema.

La precisión en la detección de estros se mide usualmente por medio de la determinación de los niveles de progesterona a través de diversas técnicas de laboratorio.

20.2. PROGRAMAS DE MANEJO REPRODUCTIVO

El principal objetivo de sistemas de manejo con pariciones y periodos de servicios estacionales es obtener el mayor número de animales gestados en el menor tiempo posible. En una población de animales sexualmente activa, con una distribución normal del ciclo estral, la frecuencia diaria de celos oscila entre 3 y 4%. Sin embargo, la ocurrencia de éstos es mayor en horas de la noche (70% entre las 18:00 y las 06:00 horas), por lo que es razonable esperar que la dificultad en la detección de celos sea uno de los problemas

individuales que mayor inciden en la eficiencia reproductiva en bovinos productores de leche en condiciones pastoriles.

El porcentaje de preñez es el producto del porcentaje de detección de celos por el porcentaje de concepción. Aumentar el número de animales gestantes no es sencillo, por lo que el porcentaje de detección de celos es una restricción importante para una buena eficiencia reproductiva (**ER**). Cuando el anestro postparto no es un problema, una de las posibles maneras de mejorar la **ER** es aumentar el tiempo dedicado a la observación de celos. Según se ha evaluado, más periodos diarios de observación aumentan el porcentaje de detección. Otra manera es implementar medidas que permitan aumentar la cantidad de vacas en calor en un periodo menor de tiempo, para lo cual una herramienta posible es la sincronización de celos. Por otra parte, al lograr una mayor actividad sexual en una población, se logra aumentar la sintomatología de calor, lo que podría mejorar la eficiencia de la detección de calores.

Es por ello que la regulación de la actividad ovárica se ha convertido en una herramienta muy útil y de creciente uso en explotaciones lecheras comerciales.

Los objetivos que se persiguen son:

- programas de reproducción controlada (sincronización de calores);
- regulación de ondas foliculares para mejorar la precisión de la sincronización de calores;
- reducción de la incidencia de calores no detectados;
- mejorar la eficiencia de la inseminación artificial.

20.3. LINEAMIENTOS PARA LLEVAR A CABO UN MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO

20.3.1. Vacas en producción ciclando

En otro capítulo se describen los diferentes métodos de sincronización de celos, así como sus ventajas y desventajas. En el presente capítulo, y tomando en cuenta eso y las consideraciones anteriores se describe, a modo de ejemplo, un esquema de manejo reproductivo del hato.

El esquema parte de las siguientes premisas:

- El periodo de espera voluntario es de 40 días (criterio que puede cambiar en diferentes sistemas de producción).
- Las vacas ya han recibido el control ginecológico **PP** correspondiente con su tratamiento adecuado.
- Las vacas están ciclando al momento de los servicios.

Cuadro 20.2. Ejemplo de un esquema de manejo reproductivo

DÍA	TRATAMIENTO	CODIFICACIÓN
Día 40	Comienzo de postparto	
Días 40-60	Detección de celo + IA	0
Después del día 60	Si no hay celo, prostaglandina (PG)	1
Después de los 14 días	Si no hay celo, prostaglandina (PG)	2
Después de los 14 días	Si no hay celo, Ovsynch	3
24-30 días luego de IA	US ¹ vacías: inicio de Ovsynch	4-8 ²

¹: US = Ultrasonografía de diagnóstico de no-preñez

²: Código 4 corresponde a vacías del tratamiento 0, 1 al 5, etc.

Fuente: Cavestany 2002.

El cuadro 20.2 resume el esquema.

Este esquema trata de minimizar los gastos de tratamientos de sincronización, tratando a su vez de inseminar el mayor número de vacas en el menor tiempo. El uso de tratamientos estará directamente relacionado con la eficiencia de detección de celos del hato y con la fertilidad de los servicios de IA.

El razonamiento que lleva a su implementación es el siguiente:

1. Durante los primeros 20 días luego de terminado el periodo de espera voluntario y comenzado el servicio, se realiza detección de calor e IA. Con esto, se da una oportunidad a todas las vacas para manifestar un calor en forma natural. Por otra parte, está demostrado que tratamientos de sincronización temprano en el **PP** resultan en fertilidad disminuida.
2. A los 60 **DPP** aquellas vacas que no han sido detectadas en calor reciben un tratamiento con prostaglandina $F_2\alpha$ (PG), seguida de detección de calor e IA.
3. Luego de 14 días de la primera PG, si las vacas no se han detectado en calor, se aplica una segunda inyección de PG, seguida nuevamente de detección de celos e IA.
4. A los 14 días de la segunda PG, aquellas vacas que no se han detectado en calor reciben un tratamiento de Ovsynch e IA a tiempo fijo (IATF).
5. Periódicamente, entre los días 24 y 30 del servicio, se realiza un diagnóstico precoz de gestación por ultrasonografía y, en ese

mismo momento, las vacas diagnosticadas no gestantes reciben el tratamiento de Ovsynch.

6. El motivo de la utilización del Ovsynch, que es un tratamiento costoso, es que las vacas que lo reciben probablemente tengan estros muy cortos o muy poco manifiestos.

20.3.2. Vacas en producción en anestro

Existe una enorme cantidad de tratamientos de anestro publicados, todos realizados en diferentes condiciones de manejo y con diferentes costos y resultados. A continuación y a modo de ejemplo se describe uno.

Los tratamientos para vacas en anestro se realizaron con el siguiente protocolo:

- Día 0 = Tratamiento con GnRH e inserción de una fuente de progesterona.
- Día 7 = Tratamiento con PG y retiro de la progesterona.
- Día 8 = Tratamiento con 1 mg de BE.
- Día 9 = Detección de celo e IA.
- Día 10 = (Optativo) IATF a vacas que no presentaron celo.

La explicación fisiológica para este tipo de tratamiento es la siguiente:

- Las vacas en anestro necesitan una exposición de progesterona previa a la inseminación para una mejor fertilidad.
- Si el anestro es "superficial", los animales presentan un continuo crecimiento folicular. El tratamiento con GnRH (día 0) ovula o desactiva el crecimiento de los folículos mayores a 10 mm presentes en el ovario, reiniciando una nueva onda folicular.
- Como muchos de esos folículos pueden ovular a consecuencia de la administración de GnRH, se le administra una dosis de PG para provocar la luteólisis de esos cuerpos lúteos recién formados.
- El tratamiento con una dosis baja de Benzoato de Estradiol sincroniza la ovulación del nuevo folículo.
- La IATF al día 10 es una medida de manejo optativa para cada caso en particular.

En el cuadro 20.3 se resumen algunos resultados de la aplicación de este tratamiento.

En la Finca 3, luego del tratamiento se utilizaron toros, por lo que no se consideró la preñez al segundo servicio.

Cuadro 20.3. Respuesta al tratamiento de anestro en cuatro fincas

	T r a t a d o s	Condición corporal	% en calor	% concepción al primer servicio	% concepción al segundo servicio
F i n c a	4 2	1.0 <: 1.9	63	25	42.8
1		1.5: 2.3	88	25	40
F i n c a	4 5	1.0 <: 1.9 1.5: 2.6	74 92	25.5 33	57 50
F i n c a	3 6	1.0 <: 2.2 1.5: 1.4	63 78	35.7 27.2	
F i n c a	4 8	1.0 <: 1.6 1.5: 2	83 100	20 0	50 100

Fuente: Cavestany. 2002.

Como se aprecia, todos los animales tratados presentaban un estado corporal menor a 1.5 y tenían un promedio de 100 días de paridas. Como respuesta al tratamiento se tomaron solamente aquellos animales en calor dentro de los 7 días siguientes al mismo. Si bien no existieron diferencias en el porcentaje de concepción al primer servicio según la condición corporal al tratamiento, las vacas con menor condición manifestaron calor en menor porcentaje. Los porcentajes de concepción al segundo servicio indican que el tratamiento no sólo fue exitoso en provocar ovulaciones con síntomas de calor, sino que los animales continuaron ciclando. El porcentaje de concepción para animales ciclando en esas fincas era de 45%, por lo que la fertilidad al tratamiento no fue muy diferente.

20.4. LITERATURA RECOMENDADA

Anta, E., Rivera, J.A., Galina, C., Porras, A., Zarco, L. 1989. *Análisis de la información publicada en México sobre eficiencia re-*

21. BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE

RAFAEL MOLINA / CARLOS GALINA

- 21.1. INTRODUCCIÓN
- 21.2. ESQUEMAS PRÁCTICOS DE MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO
- 21.3. EMPLEO DE TOROS EN PROGRAMAS REPRODUCTIVOS
- 21.4. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DEL HATO
- 21.5. LITERATURA RECOMENDADA

21.1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el ganado especializado en la producción de carne ha sido explotado de manera extensiva y en muchas ocasiones poco tecnificada; esto ha traído como consecuencia que el retorno del capital al inversionista sea lento y a largo plazo. La industria de la producción de carne se ha visto afectada en Latinoamérica por numerosos problemas, como la tenencia de la tierra, los criterios de exportación, el precio de la carne, el uso irracional del suelo afectando el balance ecológico de la región, el manejo inadecuado de las explotaciones pecuarias, la selección de razas poco adaptables al ambiente, el cruzamiento de razas sin un propósito fijo, etc. Esta serie de limitantes ha hecho que la industria del ganado productor de carne sea una opción económica poco atractiva para nuevos inversionistas y para la expansión de la ganadería ya existente.

Debido a lo anterior, el método más simple para llevar a cabo un programa reproductivo se ha basado en una ganadería de bajo riesgo con baja inversión. Por ello, la monta natural, ya sea con uno o varios toros, así como la ganadería extensiva en potreros con escaso mejoramiento de sus pastos, han sido los sistemas de elección. La ganadería basada en cantidad de vientres y no en calidad reproductiva ha sido el tenor de gran parte de los sistemas pecuarios en Latinoamérica. Sin embargo, la presión social por delimitar esas grandes extensiones de tierra con numerosos vientres, el constante abuso del suelo por parte del pastoreo irrazonable y la deforestación para crear nuevas áreas de potrero, han hecho que la sociedad demande una ganadería más tecnificada que satisfaga las necesidades del productor con mínimo deterioro del ambiente.

21.2. ESQUEMAS PRÁCTICOS DE MANEJO REPRODUCTIVO DEL HATO

21.2.1. Lineamientos generales para el manejo reproductivo

Los criterios para establecer un programa reproductivo en una región, obviamente dependen del ambiente y básicamente de dos factores: agua y forraje. Con base en qué tanta accesibilidad se tenga a cantidades constantes de agua y con cuánto alimento se pueda contar durante el año, es factible establecer programas reproductivos anuales (empadre continuo), o un segundo tipo de programa, que se basa en tener el nacimiento de las crías en determinada época del año (empadre estacional). Sin embargo, es importante enfatizar que el técnico encargado de diseñar un programa reproductivo debe tomar en cuenta no sólo la eficiencia reproductiva de las hembras, sino también la sobrevivencia de las crías. Es indispensable que los becerros no sufran los cambios extremos de temperatura y se cuente con el alimento disponible para la madre y, por ende, una buena producción láctea para obtener becerros más grandes y fuertes. Además, dicho alimento debe perdurar hasta que la cría empiece a consumirlo y no pierda el ritmo de crecimiento y ganancia de peso que obtuvo durante la lactancia.

Para lograr esto se requiere una buena planeación, ya que el tiempo transcurrido desde que un animal nace hasta que empieza a consumir alimento sólido, más o menos 3 meses, y hasta que se desteta, generalmente siete meses, ocupa más de la mitad de un año. Por desgracia existen pocos lugares o explotaciones donde se tenga forraje de buena calidad por un periodo de tiempo tan largo. Esta premisa tiene como consecuencia que en las zonas áridas o que se inundan fácilmente, el tipo de empadre es de preferencia de tipo estacional, pues el continuo requiere de mayor infraestructura respecto a la continuidad en la cantidad de agua y el consumo uniforme de forraje. Este último sistema tiende a ser más popular en las áreas templadas y tropicales de América Latina.

21.2.2. Criterios para llevar a cabo un programa reproductivo

Si se realiza un empadre considerando que la época de lluvias se establece en el Hemisferio Septentrional en los meses de mayo a octubre y la época de secas ocurre en los meses subsiguientes (figura 21.1), la época de empadre ocurre en los meses cuando la temporada de lluvias está por terminar o ha terminado y se supone que hay suficiente pasto para que la hembra se encuentre en buena condición corporal. Sin embargo, habrá vacas que tengan sólo un mes de paridas y tendrán que gestarse en un máximo de cuatro meses. Además, las crías nacerán en los meses de calor extremo y en ciertas

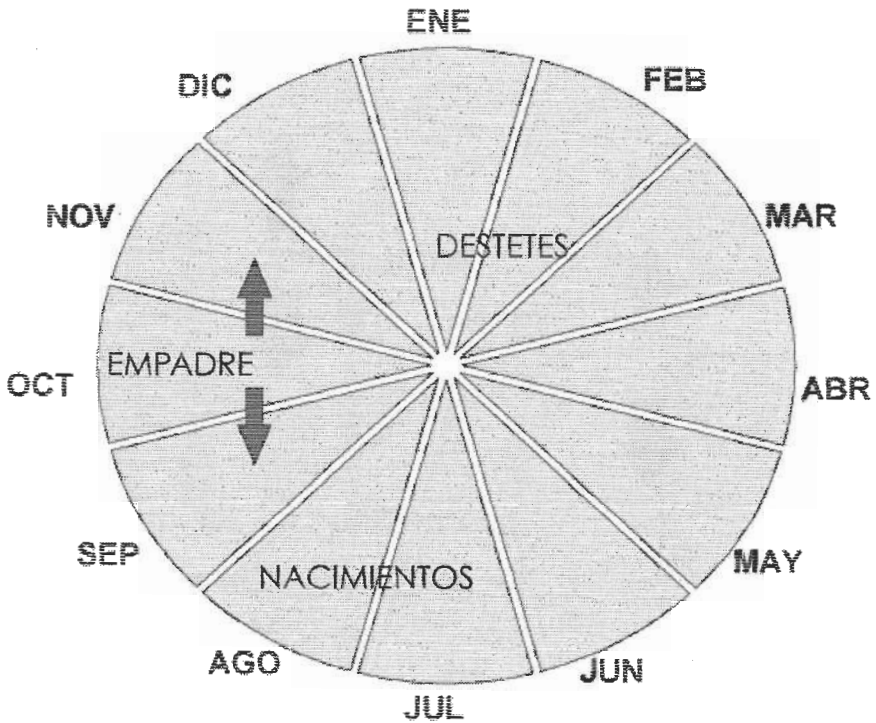


Figura 21.1. Empadre, destete y nacimientos en ganado productor de carne. Época: otoño

regiones de lluvia intensa las crías serán destetadas en los meses de enero a abril, que es la época de secas con fríos intensos en algunas áreas de Latinoamérica. Como consecuencia, existirá un atraso en el crecimiento de la cría, sobre todo si no se tiene alimento de buena calidad sumado al estrés producido por la separación de su madre, la cual le daba cierta jerarquía dentro del hato, aunado a una competencia por alimento escaso con pares posiblemente de la misma edad y similar peso, lo cual se traduce en un deficiente crecimiento y ganancia de peso. La figura 21.2 ejemplifica lo que ocurriría si el empadre se realizara en los meses previos a la época de lluvias. En este caso, las hembras tendrán pobre condición corporal, ya que los nacimientos ocurrirían en el periodo de secas (febrero, marzo y abril). Este efecto sería mucho más acentuado si la temporada de lluvias se retrasara dejando serias dudas del axioma "la vaca que pare temprano es la mejor". Efectivamente, es conveniente que tenga su parto temprano en la época de partos, pero en este programa es muy importante que también llueva temprano. En este esquema, los destetes ocurrirán al final de las lluvias, cuando el pasto sea abundante, y los becerros(as) sufrirán menos el estrés del destete.

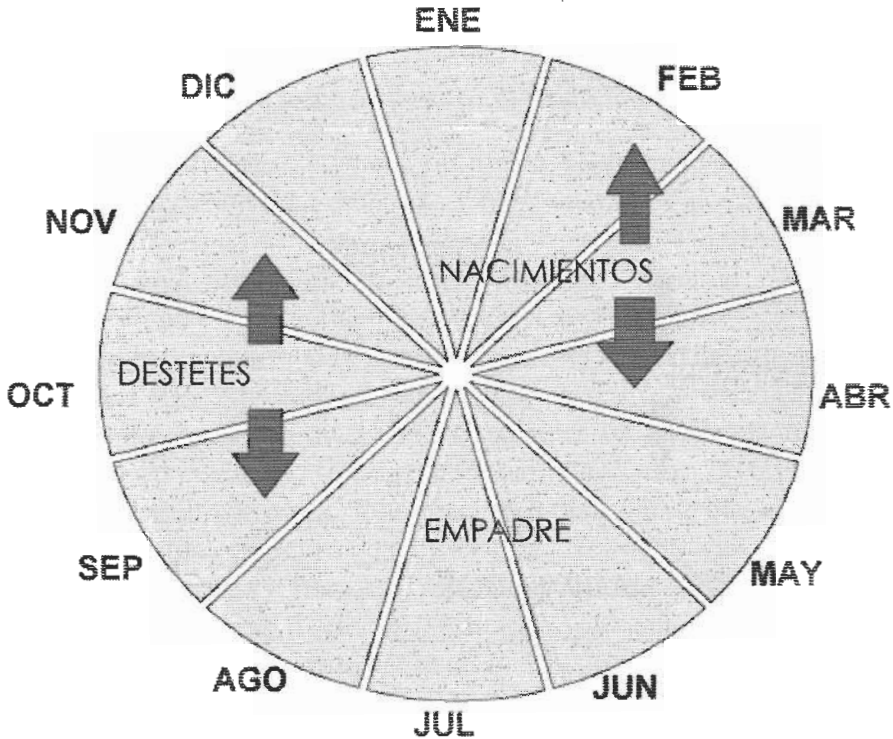
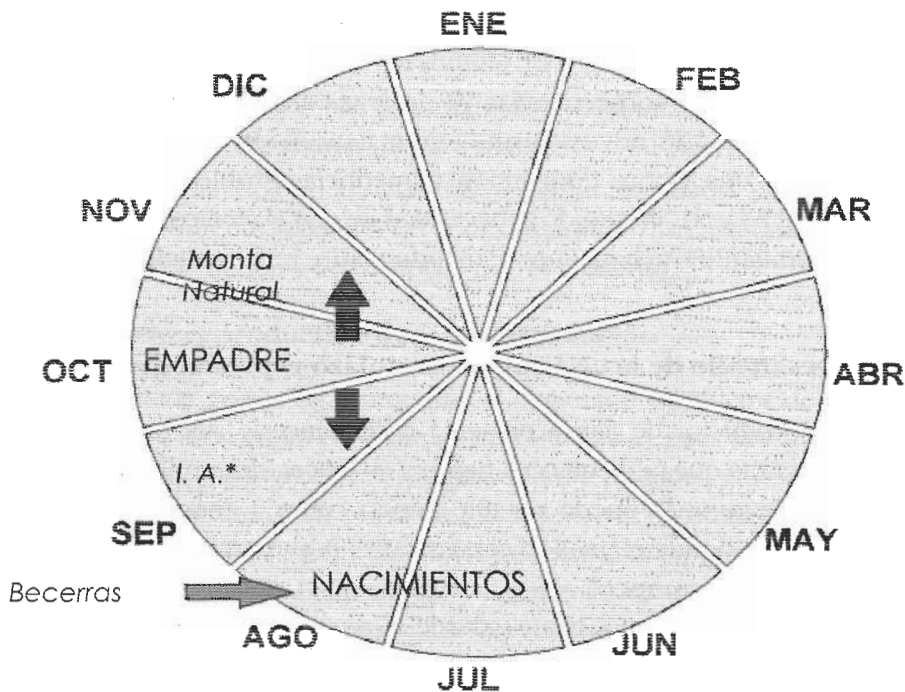


Figura 21.2. Empadre, destete y nacimientos en ganado productor de carne. Época: verano

El programa de la figura 21.3 tiene agregado un plan de IA al inicio del ciclo reproductivo. La presentación del estro puede ser manipulada farmacológicamente aumentando el número de calores y por ende las oportunidades de que la hembra quede gestante durante la época de empadre. Por este sistema también se previene un mejor progreso genético, pues existirán hembras gestantes de IA temprana en la época de empadres, esperando que éstas tengan su parto temprano en la siguiente temporada. Una adición a este bosquejo es la programación de un empadre en novillas, antes del programa de las vacas. Una medida de este tipo asegura que las novillas parirán temprano en la época de nacimientos, dando más tiempo para que queden gestantes en su siguiente periodo.

La figura 21.4, pretende ilustrar lo que pasaría si la etapa de empadres o IA se realizara en dos épocas distintas del año. En este caso el programa reproductivo se establecería en la época de lluvia (E2), cuando por lo general existen buenos pastos; las hembras tendrían una buena condición corporal y la fertilidad debería ser aceptable. Sin embargo, los nacimientos (N2) ocurrirían en la época de secas y, sobre todo, el último tercio de la gestación, que es cuando el feto demanda mayor energía de la madre. En algunas



**Inseminación artificial*

Figura 21.3. Programa reproductivo combinado: inseminación artificial y monta natural en ganado productor de carne

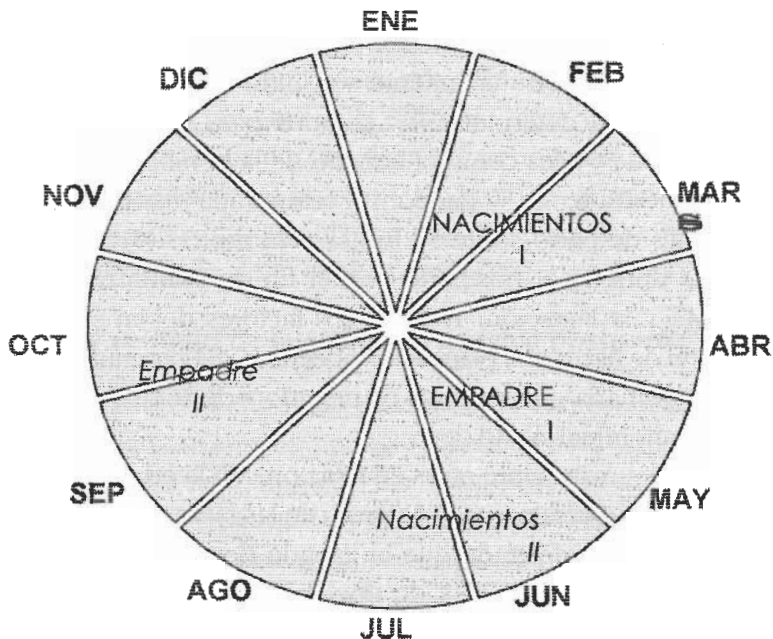


Figura 21.4. Empadre bianual en ganado productor de carne

localidades la temporada de lluvias es muy intensa, ocasiona dificultades en la supervisión de los partos. Por último, los destetes se efectuarían en una época difícil con las consecuencias ya descritas anteriormente. En muchas ocasiones este efecto adverso causa gran tensión en el ganado y como consecuencia una pobre conversión alimenticia. Problemas similares se tendrán en el E1 y N1, ilustrando la necesidad de que el técnico esté consciente de estas limitantes y haga un plan adecuado para anticiparse a estas deficiencias.

21.2.3. Desarrollo de la cría como reemplazo reproductivo

El bovino productor de carne presenta como uno de sus problemas más agudos el tiempo que tarda una cría hembra en crecer, desarrollarse y producir una cría. Este periodo puede ser tan amplio como 4 años, sobre todo en áreas tropicales donde el ganado cebú alcanza la pubertad más tarde que el ganado de origen europeo.

La edad a la primera cría es, desde el punto de vista económico, uno de los criterios más importantes para establecer la rentabilidad de una finca de ganado productor de carne, ya que es cuando la hembra es reproductiva en una empresa pecuaria generando capital para reinversión o ganancia. Antes de que la hembra produzca una cría, su presencia en la finca debe verse como una inversión pasiva que el ganadero o el administrador tiende a ignorar en el esquema económico de la finca.

Los estudios sobre edad a la pubertad en ganado productor de carne en Latinoamérica, desafortunadamente son muy escasos y con poco valor científico, y es difícil determinar los criterios para decidir cuándo deben gestarse los animales, tales como el tamaño de la hembra, la época del año para que la primeriza tenga su parto en la temporada más propicia, el efecto que tiene el mes de parto sobre su futura vida reproductiva y la alimentación adecuada durante el postparto con el fin de minimizar el efecto del estrés del parto y la lactación. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta con el fin de hacer una planeación adecuada del programa reproductivo de la empresa pecuaria que estamos planeando y de la cual deseamos obtener una adecuada rentabilidad.

Existen diferencias entre razas en relación con la edad en que alcanzan la pubertad, siendo generalmente más tardío en las razas cebuinas. En estudios comparativos se ha demostrado que el ganado de tipo europeo alcanza su primer parto a los 30 meses y el de tipo cebuino a los 40. Es importante recordar que la hembra primeriza tendrá tres factores en su contra antes de parir:

1. Está sujeta a la tensión del parto, lo cual es obviamente nuevo para ella.
2. Tiene que lactar por primera vez, lo cual demanda gran cantidad de nutrientes y energía para mantener a su cría.
3. En la mayoría de los casos debe seguir creciendo, por lo tanto es conveniente separar a las hembras primerizas de las adultas, sobre todo si tienen que competir por el alimento.

21.2.4. Manejo reproductivo durante la gestación

El diagnóstico de gestación temprana en el ganado productor de carne es necesario, sobre todo en un empadre de tipo estacional, pues apremia conocer qué animales no están gestantes todavía durante la época en que se puede hacer algo para gestarlas, tal como modificar el nivel de nutrición, inducir el estro, seleccionar lotes, en fin, una serie de maniobras que permitan gestarlas lo más pronto posible. El diagnóstico es generalmente más fácil en bovinos productores de carne que en animales especializados en producción de leche, por el tamaño del útero.

En la vaca productora de carne es importante verificar la ganancia o pérdida de peso durante la gestación, ya que si existe una pérdida de peso notable, la actividad ovárica postparto se ve seriamente retardada, lo cual en un empadre estacional origina que la hembra no pueda tener un parto cada año, y en el caso de empadre continuo el intervalo entre partos se alargará. Desgraciadamente, el último tercio de la gestación, que es cuando la cría alcanza su máximo tamaño y por ende demanda gran cantidad de nutrientes de la madre, generalmente se presenta en la época de secas, originando que la vaca gestante, en amplia demanda por una dieta alta en energía y proteína, se enfrente con el gran problema de un potrero cuyo pasto es de muy pobre calidad y que no llena sus requerimientos alimenticios. Es imperativo intervenir en este problema, pues no hacerlo afecta directamente la eficiencia reproductiva del hato.

21.2.5. Parto y reinicio de la actividad ovárica postparto

Los cuidados al parto en el bovino productor de carne son escasos, pues si la hembra tiene agua, comida y un lugar tranquilo para parir, lo más seguro es que este proceso sea simple y sin complicaciones. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que en lotes desiguales (hembras muy grandes y chicas), se crea una competencia muy dispareja por el alimento o agua, lo cual se refleja en una deficiencia en la ganancia de peso de la vaca pequeña y joven, la cual se ve más afectada si está empezando a parir en una época tardía para el ideal de pariciones; es decir, si se desea que los animales

tengan más crías en la primavera, por ejemplo en marzo, si una vaca joven pare por primera vez en mayo, ya nunca, a menos que pierda un año, va a parir en la época temprana de partos.

Este mismo principio se aplica para hembras multíparas, ya que si éstas tienen su cría en la época tardía de partos, se corre el grave riesgo de que al siguiente año la hembra no alcance a quedar gestante, sobre todo si se tiene una época de empadre reducida.

La hembra productora de carne sufre un bloqueo lactacional de mayor o menor magnitud dependiendo del ambiente. Este bloqueo se define como la falla en tener ciclos estrales o estros manifiestos, sobre todo los primeros cuatro meses postparto mientras esté lactando continuamente. Existen métodos de manejo como el destete parcial (separar a la hembra del becerro por 48, 72 o 96 horas), con lo cual las hembras mostrarán calor en los siguientes siete días. Este proceso puede ir acompañado de tratamientos hormonales, como por ejemplo la utilización de los productos basados en progesterona sintética. Generalmente, este procedimiento tiene su mejor efecto entre los 40 a 60 días postparto. Otro procedimiento es la separación prematura de la cría (a diferencia del método tradicional a los siete meses), también llamado destete precoz. Esta maniobra puede realizarse desde los 3-4 días después del nacimiento, y el becerro tendrá que entrar en programa de crianza artificial. El destete precoz puede realizarse de los 3 a 5 meses. La ventaja del primero es que cuando se realice esta maniobra, el becerro todavía tendrá el beneficio de buen alimento si la hembra parió temprano en la temporada y la época de lluvias es prolongada.

Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre las posibles causas de que la hembra lactando demore en presentar su actividad ovárica. Existe evidencia de que al remover la glándula mamaria, y por ende evitar que el becerro mame constantemente, se produce una pronta presentación de estro. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el efecto de succión producido por la cría al amamantarse no es el único factor que bloquea el reinicio de la actividad ovárica postparto. Así se ha podido revelar que hembras cuya glándula mamaria fue removida, son capaces de mantenerse anéstricas si la cría se encuentra presente con la madre todo el tiempo, sugiriendo que la unión madre-cría es tan importante como el efecto de succión *per se*.

Debido a toda esta serie de trabajos, la explicación endocrina del bloqueo lactacional no ha sido del todo esclarecida. La secreción de prolactina (hormona originalmente considerada como la causa principal) no sigue un patrón que pueda estar relacionado con este efecto; sin embargo, existe evidencia de una secreción de estrona en el periodo postparto temprano, probablemente de origen ovárico, que estimula al hipotálamo para la secreción

de hormona luteinizante, la cual tiende a luteinizar los folículos y a alterar el patrón de producción de esteroides ocasionando una elevación de los niveles de progesterona; ésta, por su parte, actúa sobre el hipotálamo para que estimule la producción de hormona folículo estimulante que origina el crecimiento folicular. Los nuevos folículos aparentemente sí ocasionan el establecimiento de ondas foliculares que estimulan adecuadamente al hipotálamo y el nuevo pico de hormona luteinizante ocasionando la ovulación. Esta serie de reacciones endocrinas se pueden ver más afectadas durante el postparto, sobre todo si el animal tiene problemas de pérdida de peso por una mala nutrición.

21.2.6. Uso de la inseminación artificial

El uso de esta técnica, a pesar de que se conoce en Latinoamérica desde la década de 1950, no ha tenido la difusión deseada. Posiblemente el factor más importante sea que la detección de signos de estro es muy deficiente. En ganado cebú, de cada 10 hembras que entran en un programa de IA, sólo es posible detectar de tres a cuatro en un periodo de 18 a 23 días. La utilización de drogas que permiten facilitar la expresión del estro, sobre todo programando que la mayoría de las hembras tengan un celo al mismo tiempo, ha facilitado el uso de la IA, incrementando el número de animales que se pueden inseminar; desafortunadamente, la fertilidad que se obtiene es baja debido, entre otros factores, a que algunas vacas son capaces de mostrar conducta de estro y no tener siquiera la presencia de un folículo capaz de ser ovulado.

En la práctica se han buscado métodos que permitan evitar la detección de signos de estro e inseminar a una hora predeterminada después de que cesa el efecto de la droga de elección, que es en general entre 48 a 72 horas, dependiendo de la droga utilizada. Esta metodología ha tenido impacto en explotaciones de productores de carne bien manejadas, pero su avance en fincas poco tecnificadas es errático. Debido a esto, muchos ganaderos han vuelto al método tradicional de observar calores y solamente inseminar hembras que muestran estro de manera espontánea. Los resultados de fertilidad a través de IA son variables pero en general se puede decir que es factible obtener una tasa de preñez de 50%; pero ésta se obtendrá solamente en el 30% del hato, que es el que presentará signos evidentes de conducta estral.

Desgraciadamente, si en el ganado productor de leche la detección de signos de estro es un problema notable, en el ganado productor de carne este problema se acentúa por varias razones:

1. La expresión del comportamiento de estro es de menor intensidad y duración, reduciendo las posibilidades para el observador ocasional para detectarla.

2. No existe una rutina o disciplina de la IA en las empresas de ganado productor de carne, lo cual hace que la técnica sólo se aplique intensamente en ocasiones, como cuando se sincronizan las hembras, originando que se haga de manera inadecuada.
3. Las instalaciones para llevar a cabo la IA, el manejo y la preparación del semen tanto fresco como congelado, en ocasiones son deficientes, reduciendo las posibilidades de que la hembra quede gestante.
4. Al no existir una rutina de IA, pueden ocurrir errores técnicos por la mala descongelación del semen, cansancio del inseminador en caso de tener que inseminar hembras sincronizadas o simplemente una pobre aplicación del método.

21.3. EMPLEO DE TOROS EN PROGRAMAS REPRODUCTIVOS

La monta natural sigue siendo el método más empleado por los productores de ganado vacuno a pesar de que la investigación sobre este tema es limitada. En efecto, varios estudios bibliométricos han demostrado que solamente el seis por ciento de la investigación que se publica, por ejemplo en el trópico, se refiere a estudios sobre el macho.

21.3.1. Evaluación del comportamiento sexual del toro

En la práctica, la mayoría de los toros que se emplean en los hatos de cría se eligen por sus características exteriores, como es el tipo y su crecimiento. Sin embargo, se debe llamar la atención sobre el peligro de utilizar únicamente tales criterios, pues diversas investigaciones indican que aproximadamente 30% de los toros no tienen habilidad para trabajar en condiciones de campo. Por ello es necesario enfatizar la importancia de incluir dentro de los criterios de selección, la determinación de la capacidad reproductiva de los toros, en programas de monta natural.

En el medio latinoamericano no se ha enfatizado sobre el trascendental papel que tiene el semental en el hato de cría, por lo que cualquier error de apreciación que se cometa a la hora de seleccionarlo, puede acarrear considerables pérdidas económicas. Por esta razón, es necesario establecer procedimientos que permitan evaluar el comportamiento sexual del toro.

La libido o impulso sexual en los toros es una característica de gran importancia económica, pero su medición es difícil, ya que en su expresión interviene un componente instintivo, que dificulta su estimación e interpretación. Se han realizado diversas investigaciones, principalmente con ganado *Bos taurus*, con el propósito de establecer la

habilidad que posee un toro para reaccionar ante una hembra sexualmente receptiva (prueba de libido) y determinar su disposición a montarla y producir un eyaculado (capacidad de servicio). Tales pruebas han sido utilizadas para establecer diferencias en capacidad de servicio entre los machos, lo cual es útil para distribuirlos adecuadamente entre los lotes de apareamiento.

Sin embargo, este tema ha recibido limitada atención; existen evidencias acerca de las dificultades que se han enfrentado al momento de aplicar esta metodología a pesar de la investigación generada en Australia que sugiere una alta repetibilidad. Este problema es todavía más marcado en animales cebuinos, pues entre otros aspectos se ha podido establecer que son más lentos para reaccionar frente a una vaca en celo, así como para efectuar la monta. Sin embargo, en comparaciones realizadas con machos *Bos taurus*, algunos de los toros cebuinos evaluados se comportaron igual o mejor que los sementales de origen europeo, lo cual demuestra una gran variación con respecto a la habilidad sexual que poseen; además, esto revela la posibilidad de realizar procesos de selección en contra del modesto temperamento sexual de los toros cebuinos. En la actualidad, de la información disponible se puede resumir que los criterios de evaluación a emplear en toros cebuinos deben ser diferentes a los aplicados en animales *Bos taurus*, o bien deben revisarse los criterios en los diferentes sistemas empleados aun en animales europeos bajo condiciones de Latinoamérica.

Sobre la base de los resultados de pruebas de libido y capacidad de servicio realizadas con toros *B. indicus*, se puede establecer que no muestran inhibiciones para manifestar su comportamiento sexual en un ambiente limitado, como lo es el corral de manejo. Sin embargo, se han dado casos de toros que a pesar de obtener un alto puntaje por su habilidad en demostrar conducta sexual bajo condiciones de confinamiento, no repitieron necesariamente este mismo desempeño bajo condiciones de campo.

La calificación que obtenga un toro está directamente relacionada con la receptividad de las hembras empleadas en el momento de la prueba. En efecto, las vacas que muestran celo espontáneo son más efectivas en lograr un mejor estímulo del macho, si se comparan con hembras a las cuales se les induce el celo. Desgraciadamente, con las pruebas de libido y de capacidad de servicio no se ha logrado establecer una alta correlación con el comportamiento de los toros al nivel de potrero. Esto pareciera contradictorio, pero se debe tomar en consideración que en algunos estudios los machos no fueron expuestos bajo suficiente presión de servicio para mostrar diferencias reales. Además, los toros de mala calidad no fueron incluidos y los investigadores no consideraron los efectos de aspecto individual y de la fertilidad del hato.

21.3.2. Caracterización del comportamiento sexual de los toros durante el apareamiento

Los estudios sobre el comportamiento sexual de los toros durante el apareamiento han permitido establecer algunos patrones conductuales bajo diversas situaciones. En efecto, cuando un solo toro es introducido en un grupo de vacas, se enfrenta con varios obstáculos que tiene que superar para poder servir las. En primera instancia, le corresponde establecer su superioridad sobre vacas dominantes; igualmente debe proteger a la vaca pasiva de ser montada por otras vacas, colocándose detrás de esta hembra en estro (figura 21.5). Una vaca activa podrá competir por la atención del toro dando topeteos en el flanco (figura 21.6), pero las evidencias indican que si el toro tiene una hembra de su preferencia, no pretenderá montar a otras vacas en estro y sí a la hembra que protege (figura 21.7). Además se ha logrado comprobar que invierten una considerable cantidad de tiempo en la identificación de vacas en celo y, dependiendo del grupo racial, son más lentos para reaccionar ante ellas y muestran una baja frecuencia de comportamiento de monta, por lo que otras hembras pueden montar a la vaca. A pesar de esto, puede considerarse que tales patrones no tienen mayor efecto sobre el desempeño reproductivo del hato.



Figura 21.5. En el ganado cebú el toro protege a la hembra en estro, colocándose en la parte posterior



Figura 21.6. Proestro en la vaca cebú; nótese el topeteo en el flanco del toro con el fin de atraerlo

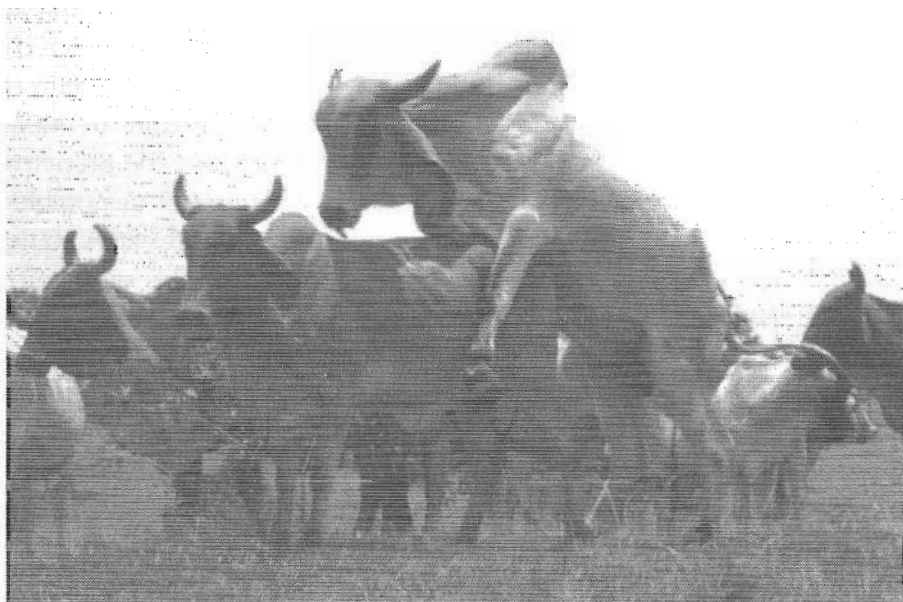


Figura 21.7. Monta directa por parte del toro con completa receptividad sexual por parte de la hembra

Al considerar aquellas situaciones en donde se incorporan varios toros a la vez con un determinado grupo de hembras, es preciso tomar en cuenta el establecimiento de interacciones sociales entre ellos, lo cual no sólo modifica el desempeño individual de los machos sino que además puede afectar los resultados reproductivos.

El empleo del empadre múltiple es una práctica común en hatos productores de carne y con frecuencia se asume que bajo este sistema se establece un determinado orden jerárquico entre los toros y que de alguna forma ellos se reparten equitativamente las vacas a servir durante la época de monta. Sin embargo, se ha establecido que existen diferencias en la actitud de los toros hacia hembras en celo, particularmente cuando se encuentran bajo empadre simple en contraposición con el empadre múltiple, donde pueden verse inhibidos por toros de mayor tamaño y agresividad.

Investigaciones previas señalan que aquellos toros que ocupan posiciones elevadas dentro de la jerarquía del hato, tienen un mayor acceso a las hembras que los subordinados; también se ha establecido que el macho dominante es el que copula un mayor número de veces, dándoles oportunidad a los subordinados únicamente cuando él reduce su actividad.

Este tipo de situaciones tiene serias implicaciones en los programas de cría que se plantean bajo un esquema de empadre múltiple (en pastoreo), donde un toro dominante puede inhibir la capacidad de servicio de los machos subordinados. Además sucede que algunos toros agresivos pueden presentar baja libido y montar menos vacas afectando la fertilidad del hato, pues impiden que toros subordinados realicen la monta y el servicio en las hembras en celo.

En diferentes estudios en donde se ha comparado el desempeño reproductivo de toros manejados bajo programas de empadre múltiple y simple, no se ha podido establecer diferencia entre las tasas de preñez obtenidas en ambos sistemas. Sobre este punto la información disponible es contradictoria, pues los resultados están afectados por factores tales como la capacidad de servicio de los toros, las interacciones sociales que ocurren entre los animales, la proporción toro/vacas y la edad de los sementales, algunos de los cuales son difíciles de controlar.

Hasta ahora la evidencia acumulada señala la necesidad de ser cauteloso a la hora de interpretar los resultados reproductivos que se obtengan en un hato, pues podrían relacionarse más con la capacidad reproductora de las hembras que con la de los mismos toros. Existen evidencias de que no todas las hembras con actividad ovárica logran quedar gestantes, lo cual ilustra el fracaso de las vacas para sostener un servicio o quizás la incapacidad del toro para servir las.

En estudios recientes donde se ha dado seguimiento a las hembras que el toro gesta (por encontrarse ciclando), se ha encontrado que la oferta

de hembras en programas de empadre, por ejemplo en condiciones tropicales, no sobrepasa del 50% de vacas ciclando para los 80 días postparto. También se ha determinado que después del reinicio de la actividad ovárica, algunas vacas presentan patrones irregulares de ciclicidad, mostrando ciclos cortos o bien dejando de ciclar. En relación con este punto, es importante destacar la influencia que ejerce la condición corporal (CC) sobre el desempeño reproductivo de las vacas. Cuando las hembras presentan una baja CC, la probabilidad que tienen de quedar gestantes es menor, debido a que se produce un aumento en la duración del periodo acíclico postparto. La pérdida de CC se acentúa aún más por el efecto causado por el amamantamiento. Las hembras que llegan al parto con reservas corporales adecuadas y mantienen buena CC después del mismo, presentan mejores índices reproductivos.

Otro aspecto a considerar es el caso de las hembras que han sido servidas por el toro, pero que posteriormente vuelven a entrar en celo; este hecho puede originarse por fallas en la fertilización por la ocurrencia de muerte embrionaria temprana (MET). Estudios realizados con vacas productoras de carne han determinado tasas de incidencia de MET entre 12 y 15%.

Las causas de la MET son multivariadas y sus efectos deben ser tomados muy en cuenta a la hora de realizar estudios del desempeño reproductivo de los hatos. En recientes investigaciones se ha comprobado que bajo condiciones tropicales las hembras tienen constantes cambios en su condición corporal y, si logran quedar gestantes al encontrarse en un plano ascendente de nutrición, pero ésta se ve interrumpida por factores tales como una sequía prolongada, sobrepastoreo y la competencia con otras hembras, ocasionan que la pérdida de peso y condición corporal sea inminente, provocando interrupción de la gestación. A todo lo mencionado anteriormente es preciso añadir que debido a las alteraciones climáticas (que inciden sobre el nivel nutricional y endocrino de cualquier animal) ocurren trastornos reproductivos que afectan el rendimiento.

Todas estas circunstancias obviamente disminuyen la posibilidad de los toros para fecundar hembras, pero se requieren más estudios para determinar los papeles relativos de los machos y de las hembras en este complejo problema que afecta la eficiencia reproductiva.

21.4. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DEL HATO

En términos generales, para lograr un mejoramiento del desempeño reproductivo, se dispone de métodos no genéticos (alimentación, sanidad y manejo) y de métodos genéticos (selección, cruzamientos). El mayor o menor

énfasis que se le otorgue a cada uno de ellos, dependerá de la situación concreta que se tenga que enfrentar. Al respecto, considerando específicamente el comportamiento reproductivo, las investigaciones coinciden en señalar que las diferencias en cuanto a desempeño se deben principalmente a factores no genéticos, mientras que los factores genéticos son relativamente menos importantes.

En la práctica, los resultados de distintos trabajos realizados bajo las condiciones prevalecientes en el trópico americano, indican que la eficiencia reproductiva puede incrementarse significativamente (entre 50-80%) en pocos años, si se emplea un programa integral de mejoramiento productivo. Este tipo de programa incluye la aplicación tanto de métodos no genéticos como de métodos genéticos. En efecto, con la aplicación de un plan que contempla el adecuado uso de los pastos, la oferta de minerales, manejo racional del hato, control sanitario, control reproductivo de hembras y toros, apareamientos dirigidos, selección de reemplazos y eliminación de vacas que no conciben en una época limitada de servicio, se ha podido incrementar positivamente el rendimiento reproductivo en vacunos productores de carne, lo cual ha permitido a la vez aumentar la productividad del hato. Efectivamente, en los hatos de cría donde se ha practicado este tipo de programas, el mejoramiento de la eficiencia reproductiva se ha logrado a corto plazo, logrando alcanzar tasas de nacimiento de 70-80%.

Si se logra que un número considerable de productores apliquen esta tecnología en sus explotaciones, será posible obtener una mayor producción de carne y por supuesto una mayor retribución económica. Sin embargo debe aclararse que la introducción de cambios específicos (época de monta, edad de destete y selección de reemplazos, entre otros) no tendrá el éxito esperado si los mismos no van acompañados de medidas colaterales (alimentación, sanidad, cruzamientos), que contribuyan a la consecución del objetivo planteado.

21.5. LITERATURA RECOMENDADA

- Aguilar, M.M., Galina, C.S., Merchant, H., Montiel, F., Canseco, R., Márquez, Y.C. 2002. *Comparison of stereoscopy, light microscopy and ultrastructural methods for evaluation of bovine embryos*. *Reprod. Domest Anim* 37: 341-346.
- Blockey, M.A. de B. 1979. *Observations on group mating of bulls at pasture*. *Applied Anim Ethol* 5:15.
- Bolaños, J. M., Galina, C. S., Estrada, S., y Forsberg, M., 1997. *Resumption of post-partum ovarian activity monitored by plasma progesterone in anestrus Zebu (Bos indicus) cattle following temporary weaning and progesterone treatment*. *Reprod. Dom. Anim.*, 32:267.

23. EQUINOS*

ANA MYRIAM BOETA ACOSTA

- 23.1. INTRODUCCIÓN
- 23.2. ACTIVIDAD OVÁRICA EN LA YEGUA
- 23.3. FOTOPERIODO
- 23.4. CICLO ESTRAL
- 23.5. COMPORTAMIENTO SEXUAL
- 23.6. CAMBIOS EN EL APARATO GENITAL
- 23.7. HALLAZGOS A LA ULTRASONOGRAFÍA
- 23.8. SINCRONIZACIÓN DE ESTROS
- 23.9. EVALUACIÓN GINECOLÓGICA
- 23.10. GESTACIÓN
- 23.11. PARTO
- 23.12. INVOLUCIÓN UTERINA
- 23.13. RECOLECCIÓN Y EVALUACIÓN DE SEMEN
- 23.14. EVALUACIÓN DEL SEMEN
- 23.15. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL
- 23.16. DIAGNÓSTICO DE GESTACIÓN
- 23.17. EXAMEN REPRODUCTIVO DEL SEMENTAL
- 23.18. LITERATURA RECOMENDADA

23.1. INTRODUCCIÓN

La importancia de conocer el manejo reproductivo del equino radica en el hecho de que es diferente al de las especies domésticas de producción, ya que por su alto valor económico y estimativo deben manejarse tanto en forma grupal como individual, evitando extrapolar los conocimientos de reproducción de otras especies a ésta. Además, el equino presenta muchas características propias tanto anatómicas como fisiológicas, lo que hace necesario su estudio detallado.

23.2. ACTIVIDAD OVÁRICA EN LA YEGUA

La yegua es un animal poliéstrico estacional cuya época reproductiva natural ocurre durante los meses de primavera y verano, es decir, cuando los días son largos.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Reproducción equina", elaborado por Alberto Saltiel.

Su actividad ovárica es regulada principalmente por el fotoperiodo, aunque también puede ser modulada por la nutrición, el clima y la temperatura. En general se conoce que en la yegua el aumento en la cantidad de luz diaria (fotoperiodo) induce la actividad estral y ovulatoria, y que ésta se interrumpe cuando el fotoperiodo disminuye.

La duración absoluta del día o de la noche no es el factor esencial, ya que yeguas localizadas en diferentes latitudes comienzan a ciclar aproximadamente en la misma época del año, y dejan de hacerlo también al mismo tiempo, a pesar de que en las diferentes latitudes la duración del día es distinta en una fecha determinada. Esto indica que las yeguas responden más bien al cambio en cantidad de luz diaria, cambio que se inicia en la misma fecha a cualquier latitud de un hemisferio determinado. Así, la duración del fotoperiodo le indica a la yegua en qué época del año se encuentra y le permite programar su reproducción con el objeto de parir en la estación más favorable del año.

Sin embargo, uno de los mayores problemas en la reproducción equina radica en que la temporada fisiológica de actividad ovárica no coincide con la temporada de montas impuestas, por las diferentes asociaciones de criadores. En el Pura Sangre Inglés, la fecha de nacimiento universal de los potrillos es el primero de enero; esto significa que la temporada de montas debe comenzar a mediados de febrero, cuando aún no ha empezado la temporada reproductiva. Diversos estudios realizados en latitudes alejadas de la línea ecuatorial en el hemisferio norte han indicado que el 75 u 85% de las yeguas muestran signos de calor y ovulan entre abril y octubre, pero sólo el 20 o 25% entran en celo y ovulan en enero y febrero.

En México (entre los 15 y 22° latitud Norte) se ha encontrado que la temporada reproductiva de la yegua, determinada mediante el examen *post mortem* de los ovarios, comprende los meses de abril a octubre. Sin embargo, en otro estudio (a 19° 21' latitud Norte), en el que se hizo el seguimiento hormonal de progesterona y ultrasonográfico de los ovarios, el 62% de las yeguas mostraron actividad ovárica durante los meses invernales, de las cuales el 31% tuvo persistencia de cuerpo lúteo. Sólo el 38% de las hembras presentaron un periodo anovulatorio entre los meses de noviembre a mayo, con una duración promedio de 128.5 días.

La mayoría de las yeguas presentan actividad estral y ovulatoria solamente en la primavera y el verano (temporada reproductiva), aunque algunas yeguas presentan actividad ovárica en el otoño y el invierno. Debe tomarse en cuenta que durante la época de inactividad ovárica algunas yeguas presentan comportamiento estral a pesar de no tener desarrollo folicular significativo, por lo que se trata de estros infértiles anovulatorios. Este

comportamiento durante la época de anestro se debe principalmente a la ausencia de progesterona más que a la presencia de estrógenos.

Al acercarse la época reproductiva, y conforme aumentan las horas luz, el porcentaje de yeguas con actividad ovárica se incrementa gradualmente. Entre el periodo de inactividad ovárica y el de actividad ovárica cíclica plena, la mayoría de las yeguas pasan por un periodo de transición caracterizado por el desarrollo de folículos persistentes, los cuales crecen hasta un cierto tamaño, permaneciendo en los ovarios durante muchos días o inclusive durante varias semanas sin llegar a ovular. Estos folículos persistentes desaparecen espontáneamente al establecerse más firmemente el periodo de actividad ovárica, ya que eventualmente el desarrollo folicular culmina con la primera ovulación de la temporada reproductiva, a partir de la cual la mayoría de las yeguas ciclarán a intervalos regulares hasta que queden gestantes o termine la época reproductiva al comenzar a acortarse la longitud del día.

23.3. FOTOPERIODO

Es posible adelantar el inicio de la época ovulatoria, utilizando iluminación artificial para modificar la duración del periodo de exposición a la luz. Para ello se deben suministrar 16 horas totales de luz por día. Para lograr una estimulación adecuada del sistema neuroendocrino de la yegua, se requiere una intensidad de luz de 500 a 1000 lúmenes, lo que para una caballeriza de 12 m² equivale aproximadamente a la luz que proporciona un foco incandescente de 200 watts. Esta iluminación debe permitir leer con claridad en cualquier rincón de las instalaciones. La estimulación con luz artificial debe comenzar en los meses de noviembre o diciembre, ya que el efecto es lento y gradual, tomando un tiempo aproximado de 60 días para obtener resultados.

23.4. CICLO ESTRAL

La duración promedio del ciclo estral de la yegua es de 21 días, aunque se consideran normales ciclos de 19 a 23 días. El ciclo se puede dividir en dos etapas, una de receptividad sexual denominada estro y que dura entre 5 y 7 días, y la etapa de diestro o fase lútea, que tiene una duración promedio de 14 o 15 días y durante la cual la yegua no acepta al garañón debido a que tiene un cuerpo lúteo productor de progesterona. La ovulación ocurre por lo general de 24 a 48 horas antes de la finalización del estro, presentándose en la mayoría de las yeguas durante las horas de la noche.

Al intervalo entre la regresión del cuerpo lúteo y la siguiente ovulación se le llama fase folicular. La duración de esta fase depende del grado de desarrollo que tenía el folículo ovárico dominante al momento de iniciarse la

regresión del cuerpo lúteo, de la velocidad de crecimiento folicular a partir de ese momento, y del tamaño requerido por el folículo para poder ovular. Dichos eventos se ven afectados principalmente por la época del año, por lo que la fase folicular tiende a ser más larga al inicio de la época reproductiva que a la mitad de la misma. La duración de la fase folicular también se ve afectada por variaciones individuales y de raza. El diámetro del folículo más grande influye en la luteólisis, el inicio del siguiente estro, la ovulación y el diestro. Mientras más grande sea el folículo al inicio del estro, más rápido llegará a ovular y por lo tanto será más corto el estro.

Los ponies tienen un ciclo estral más largo que los caballos, durando en promedio 25 días, de los cuales 8 o 9 días corresponden al estro y 16 a la etapa de diestro. La duración del ciclo estral en el burro (*Equus asinus*) es de 25 a 26 días, con un estro de 6 a 8 días y un diestro de 18 a 19 días.

23.5. COMPORTAMIENTO SEXUAL

Para una adecuada detección de estro se debe observar el comportamiento de las yeguas diariamente en presencia del recelador, elaborando registros reproductivos individuales. Lo mejor es tener destinado un macho para la realización del recelado, el cual debe ser de preferencia de talla más pequeña que las yeguas, con el objeto de dificultar la penetración accidental. También debe tener una buena libido y que recele a la última yegua con el mismo vigor que a la primera. Los métodos de recelado son variados. Se puede usar una barrera física entre ambos animales o incluso un tirapié para evitar lesiones durante este manejo. Lo importante no es el método de elección sino que se realice individualmente.

Si la yegua tiene potro al pie, se recelará en una manga de manejo donde haya un cajón anexo para colocar al potro, lo que evita que la yegua se ponga nerviosa o agresiva con el garrón o con las personas que estén llevando a cabo el recelado. En términos generales, la detección de estros se debe ajustar a las condiciones del lugar donde se encuentren los equinos, siempre buscando la seguridad del personal y de los animales (figura 23.1).

La yegua en estro generalmente separa los miembros del tren posterior, levanta la cola, se muestra tranquila e interesada hacia el semental. Uno de los signos más pronunciados es la relajación del músculo de la cadera y flexión del corvejón, asociado al descenso del área perineal. Además, la hembra muestra relajación de los labios vulvares, con emisión de pequeños chorros de orina y la eversión del clítoris conocida como “espejeo” (figura 23.2).

Durante el diestro, existen folículos que crecen e involucionan. Los folículos que no involucionan empiezan a aumentar de tamaño y son

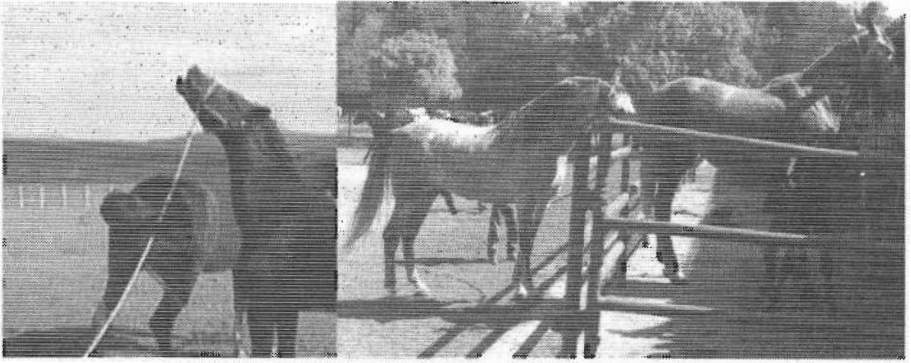


Figura 23.1. Técnicas de recelado. Obsérvese el recelado tanto grupal como individual; este último a través de una barrera física

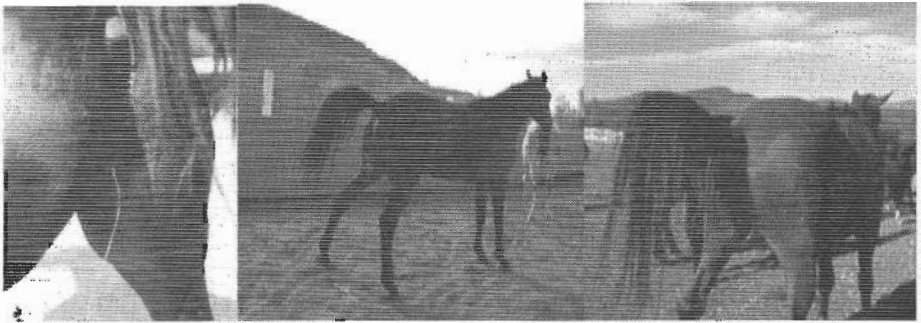


Figura 23.2. Signos de celo. Nótese la cola levantada y la emisión de orina a través de los labios vulvares

prominentes antes de que la yegua entre en celo (folículos de 25 a 35 mm de diámetro). Por lo general, sólo un folículo continúa su crecimiento hasta el tamaño preovulatorio de 35 a 60 mm de diámetro (promedio 45 mm), pero en ocasiones dos o más folículos podrán crecer a un tamaño similar produciendo ovulaciones dobles. En ocasiones, un folículo puede haber ovulado mientras otro más pequeño (35 mm) se desarrolla rápidamente y ovula dentro de las siguientes 48 horas.

23.6. CAMBIOS EN EL APARATO GENITAL

Durante el estro, existen cambios característicos en el cérvix que se pueden observar al examen vaginal. Estos cambios se relacionan con el color, la cantidad de edema, el grado de relajación y la cantidad y consistencia de las

secreciones cervicales. Por lo general, al inicio del estro el cérvix sufre un relajamiento progresivo, cambia de color pálido a rosado, se vuelve edematoso y sus secreciones aumentan y se vuelven más líquidas.

El diestro se caracteriza por la formación del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona. Durante esta fase, la yegua muestra resistencia activa hacia el recelador, echa las orejas hacia atrás, pateo y pega la cola hacia la zona perineal. Al ocurrir la ovulación, el folículo colapsado se llena de sangre y durante las primeras 10 horas es muy suave y fluctuante a la palpación rectal. A los 5 días postovulación ya se tiene un cuerpo lúteo maduro, el cual secreta progesterona y tiene una vida media de aproximadamente 14 días. La progesterona no permite que la yegua muestre celo y también ocasiona el cierre del cérvix, sellando al útero y preparándolo para el mantenimiento de la gestación, en caso de que ocurra. Durante el diestro el cérvix se encuentra fuertemente cerrado, de color pálido, sin edema y con una pequeña cantidad de moco seco y pegajoso.

La yegua es capaz de ovular durante el diestro, característica única dentro de las especies domésticas. Estas ovulaciones ocurren entre los días 2 y 15 del ciclo, no son acompañadas por signos de estro y el cérvix permanece cerrado y seco.

23.7. HALLAZGOS A LA ULTRASONOGRAFÍA

Los ovarios inactivos de una yegua en época anovulatoria (anestro) se diferencian fácilmente de una yegua en plena época ovulatoria, ya que los primeros son pequeños e inactivos, es decir, no presentan folículos mayores a 10 mm de diámetro y hay ausencia de cuerpos lúteos, mientras que en yeguas con actividad ovárica se pueden localizar folículos que varían de tamaño entre los 35 y 65 mm de diámetro, así como cuerpos hemorrágicos y cuerpos lúteos.

Folículos: éstos se observan fácilmente en la yegua, ya que son grandes y con fluido en su interior, por lo cual se ven anecoicos (negros); la mayoría de ellos son circulares, aunque a veces pueden aparecer irregulares debido a la compresión que ocasionan los folículos adyacentes. En los ovarios se pueden llegar a observar oleadas foliculares, con presencia de varios folículos de tamaños que van de 15 a 65 mm de diámetro. Un folículo preovulatorio puede crecer de 35 a 65 mm de diámetro dependiendo de la talla de la yegua (figura 23.3), pudiendo adquirir aspecto piriforme debido a su orientación hacia la fosa de ovulación (figura 23.4).

Cuerpo hemorrágico: éste se forma después de la ovulación en el lugar donde se encontraba el folículo preovulatorio. Está constituido por un coágulo

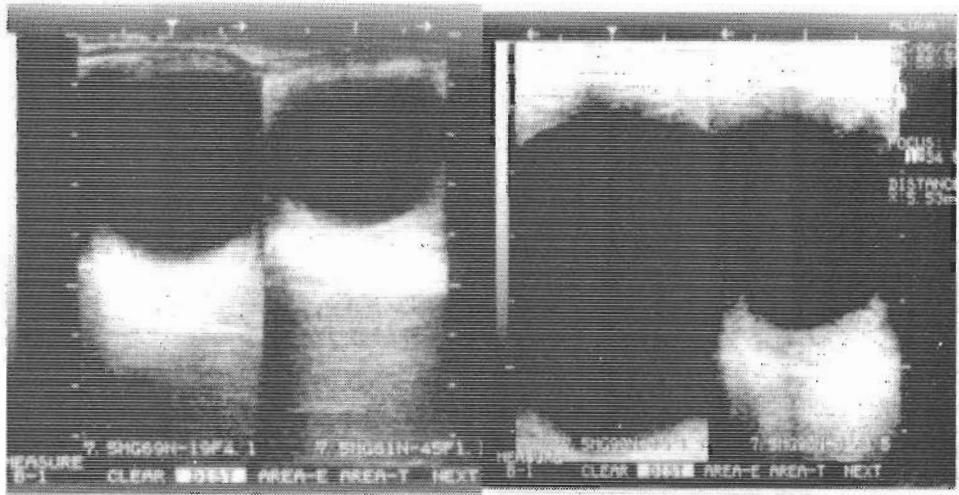


Figura 23.3. Imágenes ultrasonográficas en las que se observan varios folículos de forma circular y de apariencia anecoica

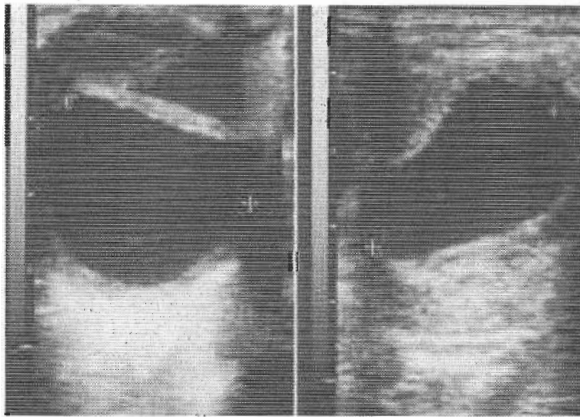


Figura 23.4. Imagen ultrasonográfica de folículos preovulatorios. Observe su apariencia piriforme, indicando que se acerca a la fosa de ovulación

de sangre, que en las primeras 24 horas se observa con fondo anecoico, y algunas estrías de apariencia ecogénicas, las cuales corresponden a la fibrina que se forma en su interior (figura 23.5). Los bordes son irregulares y conforme transcurre el tiempo se va a ir luteinizando gradualmente por células lúteas que se originan de la pared folicular, ocasionando que empiece a tener paredes más regulares y esféricas. Al quinto día posterior a la ovulación ya es un cuerpo lúteo maduro capaz de producir niveles mayores a 1 ng/ml de progesterona.

El cuerpo lúteo se visualiza como una estructura de bordes redondeados e hiperecogénicos (blanco brillante). Durante su desarrollo se puede formar un área central ecogénica, con luteinización periférica, o puede permanecer luteinizado homogéneamente (figura 23.6).

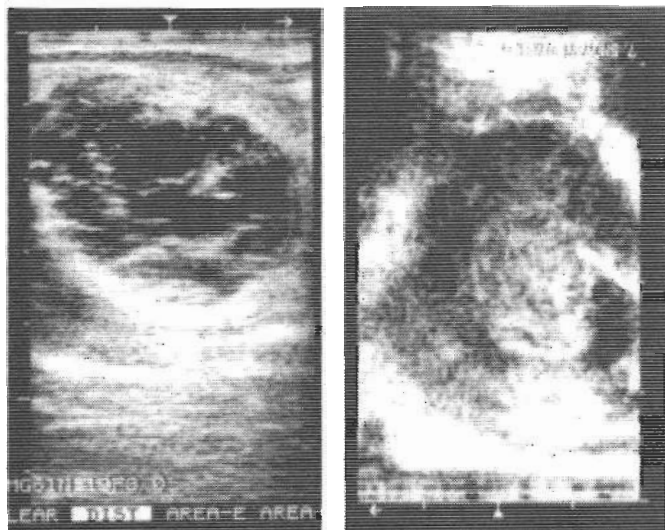


Figura 23.5. Imagen ultrasonográfica de cuerpos hemorrágicos. La del lado izquierdo corresponde a una ovulación de 48 horas, mientras que la imagen del lado derecho corresponde a una ovulación de 96 horas

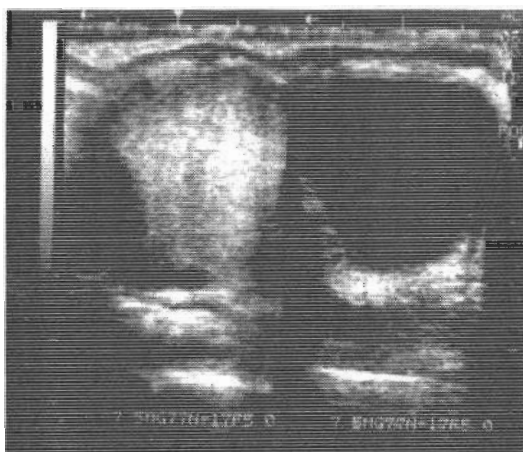


Figura 23.6. Imagen ultrasonográfica de un cuerpo lúteo maduro de apariencia hiperecogénica (izquierdo), mientras que la del lado opuesto corresponde a un folículo piriforme de apariencia anecoica

Cuerpo del útero: se observa como una imagen ecogénica y longitudinal, debido al corte transversal que se realiza al colocar el transductor con respecto al cuerpo uterino (figura 23.7).

Cuernos uterinos: a la evaluación ultrasonográfica, el transductor se coloca sobre los cuernos uterinos, realizando un corte transversal, lo que produce una imagen circular a irregular, dependiendo de la etapa del ciclo estral de la yegua.

Durante la etapa anovulatoria, los cuernos uterinos se observan irregulares, pequeños y con apariencia hipoeoica. En la época ovulatoria



Figura 23.7. Obsérvese el cuerpo del útero en la parte superior de la pantalla

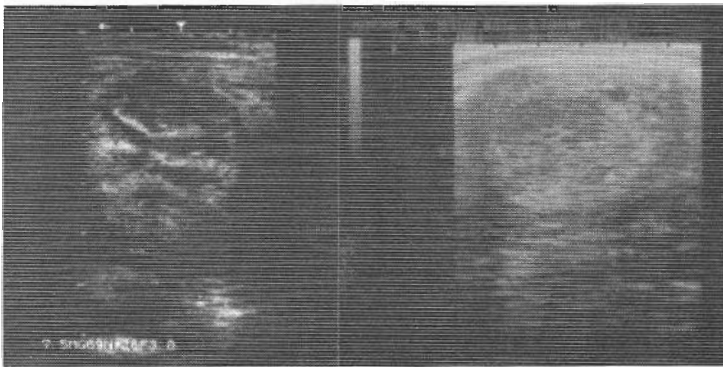


Figura 23.8. Imágenes ultrasonográficas de cuernos uterinos. Del lado izquierdo se observa un cuerno en estro, donde se distinguen los pliegues endometriales, mientras que del lado derecho se observa un cuerno en diestro

durante el estro, se observan circulares y con áreas anecoicas, las cuales se originan por el edema presente en los pliegues endometriales. Durante el diestro se observan pequeños, circulares y bien definidos (figura 23.8).

23.8. SINCRONIZACIÓN DE ESTROS

La sincronización de estros se puede hacer mediante diversos métodos hormonales, básicamente se utilizan progestágenos y prostaglandina F2 α .

La administración de un progestágeno durante 9 a 13 días simula la presencia de un cuerpo lúteo, inhibe la secreción hipotalámica de GnRH y la respuesta de la hipófisis a esta hormona, por lo que se reduce la secreción de gonadotropinas y se detiene el desarrollo folicular. Al interrumpir la

administración del progestágeno se inicia una fase folicular. El progestágeno más utilizado es el Altrenogest en dosis de 0.044 mg/kg por día.

La prostaglandina F2 α natural y sus análogos sintéticos provocan la regresión del cuerpo lúteo, con lo que se inicia un nuevo ciclo estral. Esta hormona sólo se utiliza en yeguas que se encuentren ciclando y es eficaz entre el sexto y noveno día posterior a la ovulación (tomando el día 0 = ovulación).

Una de las principales razones para utilizar análogos sintéticos de prostaglandinas, es la reducción en las reacciones secundarias indeseables en la yegua que se provocan al usar la prostaglandina F2 α natural, como son sudoración copiosa, motilidad gastrointestinal aumentada y ataxia caudal. Sin embargo, estas reacciones son limitadas y desaparecen en los 45 minutos siguientes sin dejar secuelas. La dosis de la prostaglandina natural es de 5 mg, mientras que de una sintética como el cloprostenol es de 150 mg dosis total.

En un estudio que se llevó a cabo con la prostaglandina sintética antes mencionada para la sincronización de estros y reducción de los efectos colaterales utilizando la mitad de la dosis total (.075 mg), se encontró un efecto luteolítico en el 95% de las yeguas tratadas, lo que significa que la mayoría de las hembras entraron en celo dentro de los 5 días siguientes a la aplicación de la hormona. En cuanto a los efectos colaterales, se encontró que el efecto más significativo fue el incremento en la motilidad intestinal, que ocasionó una diarrea temporal en el 64% de los animales, problema que desapareció dentro de las dos horas siguientes.

23.8.1. Inducción de la ovulación

La programación de la ovulación se puede lograr mediante una hormona de efecto luteinizante, como la gonadotropina coriónica humana; la dosis es de 1500 a 3300 UI inyectada por vía intramuscular. Esta hormona se aplica únicamente cuando existe un folículo mayor a 35-40 mm de diámetro. La ovulación ocurre entre las 24 a 48 horas después de la aplicación.

23.9. EVALUACIÓN GINECOLÓGICA

El examen genital externo incluye el examen visual del perineo, la vulva, la conformación pélvica y la implantación de la cola, así como la revisión de la glándula mamaria.

En la vulva se debe revisar primero la conformación de los labios vulvares, que normalmente deben ser verticales, con una inclinación cráneo-caudal de no más de 10° con respecto a la vertical. La vulva debe extenderse

sobre el arco isquiático de la pelvis para una máxima función reproductiva. La comisura dorsal de la vulva no debe estar a más de 4 cm sobre el piso de la pelvis, o sea que aproximadamente dos terceras partes de la hendidura vulvar deben quedar por debajo del piso de la pelvis.

Se debe determinar si los labios vulvares cierran correctamente, para lo cual se separan suavemente al tiempo que se acerca el oído para escuchar si existe paso de aire a través de los labios. Si la prueba resulta positiva, es posible que la yegua esté predispuesta a problemas de infertilidad por neumovagina. También debe evaluarse el tono de la vulva, el cual dependerá de la etapa del ciclo estral en que se encuentre la yegua. Bajo la influencia de la progesterona se produce un incremento en el tono muscular, lo que resulta en un acortamiento de la longitud vulvar. En contraste, bajo los efectos de los estrógenos la vulva está alargada y relajada, por lo que la longitud vulvar es mayor durante el estro o cerca del parto y disminuye durante la gestación y el diestro.

Una evaluación visual de la conformación pélvica puede sugerir muchas veces problemas de infertilidad, como los que ocurren en hembras con el maslo de la cola muy elevado, lo que permite la penetración de orina o contaminantes a través de la vagina. Otra conformación no deseable es cuando se presenta el ano hundido, ya que esto ocasiona que al defecar, las heces caigan sobre la vulva, aumentando el riesgo de contaminación de los órganos genitales internos (figura 23.9).

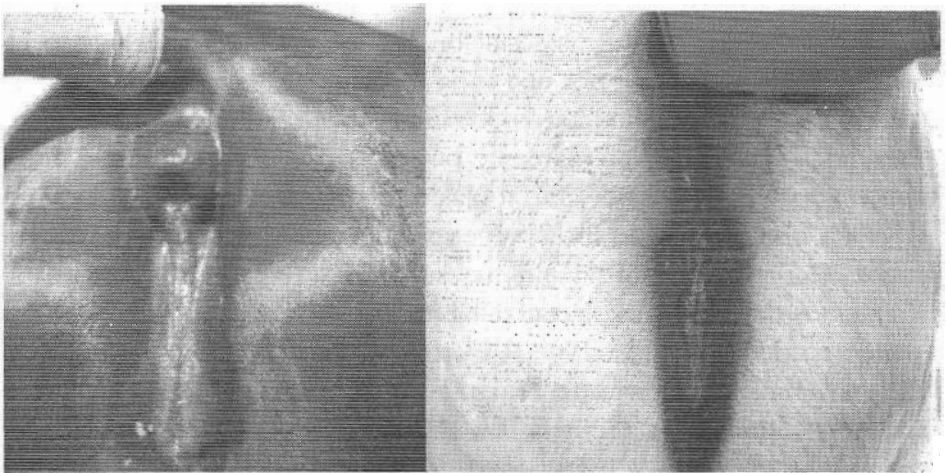


Figura 23.9. Obsérvense las conformaciones vulvares. La del lado izquierdo corresponde a una conformación ideal, y del lado derecho se encuentra una conformación no adecuada donde el ano está completamente hundido, lo que puede predisponer a infecciones en los órganos genitales internos

23.10. GESTACIÓN

La gestación de la yegua tiene una duración de 335 a 341 días y se inicia en el momento de la fertilización. El oviducto de la yegua tiene la capacidad, única entre las especies domésticas, de reconocer entre el óvulo fertilizado (cigoto equino) y aquel que no lo está. De esta manera, solamente permite el paso de óvulos fertilizados hacia el cuerno uterino, a través de la prominente papila útero-tubal, lo cual ocurre 6 a 7 días posteriores a la ovulación, mientras que los óvulos sin fertilizar son retenidos en los pliegues oviductuales, pudiendo permanecer en este sitio durante varios meses, hasta que degeneran y son reabsorbidos.

A partir de la formación del blastocito, que ocurre entre el día 7-8 postovulación, comienza una expansión relativamente rápida que resulta en el adelgazamiento de la zona pelúcida, su ruptura y posterior eliminación. Sin embargo, el embrión equino nunca queda descubierto al salir de la zona pelúcida como ocurre en otras especies, ya que durante la formación del blastocito se deposita entre el trofoblasto y la zona pelúcida una estructura llamada cápsula equina formada de material glicoproteico que permanecerá rodeando al embrión hasta que comienza a desintegrarse a partir del día 20 o 21 de la gestación.

Se cree que esto se debe a que la yegua presenta un calor fértil postparto rápido; por eso necesita de una estructura más resistente que el trofoblasto, que cumpla una función de protección mecánica ante las contracciones uterinas que se producen durante las primeras semanas de la gestación, y que son necesarias para la movilidad y la orientación del embrión.

Alrededor del día 11 de la gestación, la superficie interna del blastocele es recubierta internamente por una capa de células de origen endodérmico que forman el saco vitelino, con lo que el blastocito adquiere una estructura bilaminar constituida internamente por el saco vitelino de origen endodérmico y externamente por el trofoblasto de origen ectodérmico.

Para que se lleve a cabo el reconocimiento materno de la gestación, es necesario que el embrión indique su presencia a la madre mediante movimientos de la vesícula, la cual debe ponerse en contacto con toda la superficie del endometrio para bloquear en forma efectiva la secreción pulsátil $\text{PGF2}\alpha$, manteniéndola en forma basal. El desplazamiento del embrión ocurre mediante contracciones uterinas, las que son provocadas por el propio embrión que secreta $\text{PGF2}\alpha$ y PGE2 .

En el día 15 o 16 ocurre la fijación de la vesícula, que es favorecida por el aumento del diámetro del embrión y por un incremento del tono uterino que provoca una mayor resistencia al movimiento. Poco después de

fijarse el embrión, se produce la orientación de la vesícula embrionaria con respecto a la unión del mesometrio con el útero. Por esta razón, cuando el embrión comienza a ser visible por ultrasonografía (día 20 de la gestación) generalmente se encuentra localizado en la parte ventral de la vesícula.

A partir del día 16, el corión comienza a emitir unas proyecciones llamadas pliegues amnióticos, que engolfan al disco embrionario. Los pliegues amnióticos se fusionan alrededor del embrión, dejándolo envuelto en el saco amniótico. Alrededor del día 20 comienza a formarse una evaginación de la vejiga, la cual, al crecer, sale del cuerpo del embrión para formar el saco alantoideo, el cual mantiene el contacto con el interior del embrión a través de lo que posteriormente será el cordón umbilical. Al ir creciendo, el alantoides va ocupando el espacio localizado por debajo del embrión, llegando a ponerse en contacto estrecho con el corión para formar la membrana corioalantoidea.

Alrededor del día 30 de la gestación, en el sitio de unión entre el saco alantoideo en crecimiento y el saco vitelino en regresión, se forma una banda de tejido avascular, denominada cinturón coriónico, sitio de donde se desprenden las células coriónicas que colonizarán el endometrio para formar las copas endometriales. En el día 40 comienzan a producirse secreciones significativas de gonadotropina coriónica equina (eCG), antes llamada gonadotropina sérica de yegua gestante (PMSG o Pregnant Mare Serum Gonadotrophin). Se ha demostrado que la eCG es idéntica a la LH equina, y la síntesis de ambas hormonas es codificada por el mismo gen, el cual se expresa en la adenohipófisis en el caso de la LH, y en las células de las copas endometriales en el caso de la eCG. Por esta razón, en el equino la eCG tiene una función luteotrópica, siendo la hormona responsable de mantener estimulados a los cuerpos lúteos para que se mantenga la secreción de progesterona.

23.10.1. Progesterona

La progesterona comienza a elevarse 2 o 4 días después de la ovulación conforme se desarrolla el cuerpo lúteo, y debido al reconocimiento de la gestación se evita la destrucción de dicho cuerpo lúteo. Las concentraciones de progesterona empiezan a disminuir ligeramente antes del día 30 de la gestación, pero vuelven a elevarse entre el día 30 y 42 de la gestación, al irse formando los primeros cuerpos lúteos accesorios. Éstos provienen de folículos que se desarrollan en los ovarios y que son ovulados en diferentes momentos de la gestación, comenzando alrededor del día 35 de la gestación. A partir del día 40, debido a las altas concentraciones de eCG, comienzan a inducirse las primeras ovulaciones, o bien la luteinización de algunos de estos folículos.

Las concentraciones de progesterona empiezan a incrementarse conforme aumenta el número de cuerpos lúteos accesorios, por lo que las máximas concentraciones se alcanzan entre el tercero y cuarto mes de la gestación. Hacia el quinto mes dichas copas sufren una regresión total, desapareciendo la eCG de la circulación sistémica.

A partir de la regresión de las copas endometriales, la producción de progesterona necesaria para que la gestación continúe es mantenida por la placenta, que tiene la capacidad de producir cantidades suficientes de progesterona, aunque en la madre sólo es posible determinar metabolitos de esta hormona.

En una gestación intraespecie (caballo con yegua), las concentraciones de eCG circulante se elevan gradualmente hasta llegar a su máximo entre el día 60 y el día 70 de la gestación, para comenzar a descender hasta desaparecer de la circulación materna al día 120-150 de la gestación debido al rechazo de las copas endometriales por el sistema inmunológico de la yegua.

Un aspecto interesante es que cuando se produce la muerte del producto después de la formación de las copas endometriales, éstas continúan funcionando autónomamente hasta el día que normalmente regresarían, por lo que las concentraciones de eCG permanecen elevadas a pesar de la muerte del feto. El desarrollo del cinturón coriónico y las copas endometriales, así como del perfil de secreción de eCG, dependen de la interacción entre los genotipos paterno y materno. En gestaciones en las que el padre es caballo y la madre es yegua, el cinturón coriónico se desarrolla adecuadamente, y hacia el día 35 las células coriónicas ya han invadido el endometrio materno y secretan gran cantidad de gonadotropina coriónica equina. Pero cuando el producto es un híbrido de yegua con burro (mula), se produce solamente 10 a 15% de la eCG que se produciría en una gestación de yegua con caballo, lo cual se debe a que las copas endometriales en una yegua con gestación híbrida son más pequeñas y el cinturón coriónico es más estrecho que en la gestación intraespecie. Además, en esta gestación la eCG desaparece de la circulación en forma muy prematura, entre los días 70 y 80 de la gestación.

En la especie equina la implantación es de tipo central, y desde el punto de vista histológico, la placenta es de tipo epitelio-corial. De acuerdo con el desarrollo de las vellosidades, es de tipo difuso debido a que se desarrollan en toda la superficie del corión, con excepción de la apertura de las glándulas uterinas y del área en que la placenta establece contacto con el cérvix. Las vellosidades del corión se organizan en estructuras arborescentes denominadas microcotiledones que encajan en criptas complementarias formadas por las microvellosidades endometriales (microcarúnculas).

La unión de un microcotiledón con una microcarúncula forma un microplacentoma. Los microplacentomas completan su desarrollo hasta el día

150 de la gestación, por lo que es hasta ese momento en que la implantación se completa totalmente.

23.11. PARTO

El parto es un proceso biológico que comienza al final de la gestación y termina con el nacimiento del potro y expulsión de la placenta. Durante este proceso el útero expulsa al producto en el momento adecuado para que el neonato pueda llevar su vida independiente. El nacimiento debe ser lo menos traumático posible para que la yegua pueda quedar gestante y tener otro potro al año siguiente.

Aparentemente la yegua tiene la capacidad de controlar el inicio del parto de manera que el producto nazca durante la noche entre las 7 PM y 7 AM, o cuando la actividad en el establo sea la mínima.

El proceso del parto se divide en tres etapas: dilatación del canal del parto (preparación), expulsión del feto y expulsión de membranas fetales.

Preparación. Esta etapa comienza varios días antes de que se produzca la expulsión del producto, y se caracteriza por un aumento gradual de la frecuencia e intensidad de las contracciones del miometrio, así como por la dilatación del cérvix. Durante esta etapa, aproximadamente cuatro horas antes del nacimiento del potro, se observan en la madre áreas de sudor en forma de parches localizados en los flancos y debajo de la articulación de los codos. Debido a las contracciones uterinas, el corioalantoides ejerce una presión sobre el cérvix, provocando su ruptura y salida de fluido corioalantoideo. Este líquido sirve como lubricante para el paso del amnios que contiene al feto. La yegua, al oler este fluido muestra el signo de Flehmen. Se cree que este signo permite el paso de feromonas, las que posiblemente actúen para estimular las contracciones abdominales durante el parto, así como para el reconocimiento de su cría.

La glándula mamaria se desarrolla notablemente 3 a 6 semanas antes del nacimiento del potro y empieza a tener goteo de calostro 2 o 3 días antes del parto, el cual finalmente se endurece en el extremo distal de la teta, adquiriendo una apariencia de cera adherida que sella el orificio.

Expulsión del feto. Comienza con la ruptura de la membrana corioalantoidea y la expulsión de pequeñas cantidades de fluido corioalantoideo a través de la vulva (figura 23.10). En este momento aparece por la vulva el amnios, con apariencia de bolsa blanca transparente, y la yegua generalmente asume una posición de recumbencia. En caso de que apareciera una bolsa rojiza (corioalantoides), se sospechará de placenta previa, que compromete la viabilidad del feto.

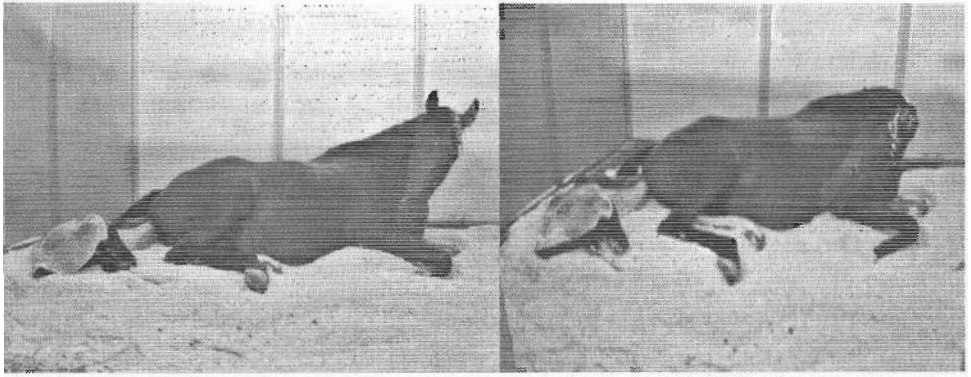


Figura 23.10. Nótese la expulsión del producto cubierto parcialmente por el amnios

La etapa de expulsión del producto es más rápida que en otras especies debido a la fuerza de las contracciones abdominales de la yegua, durando de 17 a 20 minutos, aunque puede terminar en menos de 10 minutos o prolongarse hasta una hora. Debido al esfuerzo físico ejercido por la hembra, ésta puede permanecer en recumbencia hasta por 40 minutos después del nacimiento del potrillo.

El cordón umbilical es muy largo en esta especie, por lo cual permanece intacto después del parto. Durante el tiempo que la madre y la cría permanecen echados juntos y sin que se rompa el cordón umbilical, se transfieren hasta 1.5 litros de sangre desde la placenta al potro, la cual constituye hasta 30% del volumen sanguíneo de este último. Por esta razón no es recomendable ejercer en la yegua ningún estímulo que provoque una ruptura prematura del cordón umbilical.

23.11.1 Expulsión de las membranas fetales o placenta

La expulsión de la placenta ocurre normalmente durante la primera hora después de la expulsión del producto. Para la expulsión de la placenta, la yegua vuelve a tener contracciones uterinas. La etapa 3 finaliza con la expulsión de la placenta, por lo cual al momento en que la yegua la arroje se debe revisar detalladamente su integridad, peso y apariencia, para saber si existe alguna anomalía.

23.12. INVOLUCIÓN UTERINA

La gestación de la yegua es relativamente larga (340 días), y a partir del parto transcurren aproximadamente 25 días para que la yegua vuelva a quedar gestante, lo cual implica una rápida involución uterina, así como un regreso

a la actividad ovárica. Todos estos eventos suceden en un periodo muy corto. El tipo de placentación de la yegua permite que al momento del parto, las microvellosidades del corión se separen del endometrio sin provocar daños severos sobre el útero como sucede en otras especies domésticas. La temprana involución uterina y el inicio de estro postparto fértil, permiten que se establezca rápidamente una gestación, en un lapso de 1 a 2 semanas.

En las yeguas, normalmente la prostaglandina $FG2\alpha$ y la oxitocina contribuyen a las contracciones miometriales, ya que se mantienen elevadas durante los primeros días postparto. Todos estos sucesos hormonales van encaminados a promover las contracciones uterinas para la expulsión de la placenta y el proceso de involución. Para el cuarto día postparto las glándulas endometriales regresan a su estado normal. El séptimo día, las microcarúnculas deben haber sido absorbidas, e histológicamente el endometrio debe haber regresado a su estado pregrávido hacia el día 14 postparto.

La contractibilidad uterina permite que todos los fluidos y los loquios que se encuentren en el lumen uterino sean desechados, y para el día 15 postparto al realizar una evaluación ultrasonográfica no debe encontrarse ningún fluido en el útero, lo cual significa que la hembra puede volver a establecer una gestación.

La yegua es la única especie doméstica que tiene un calor fértil postparto conocido como "calor del potro", el cual se caracteriza por desarrollo folicular normal acompañado de ovulación en los primeros 20 días postparto. En el 90% de las yeguas, el calor del potro inicia entre los 5 y 12 días postparto y la primera ovulación ocurre después de los nueve días en la mayoría de las hembras. La época del año en la cual ocurre el parto afecta la variación del primer estro y de la primera ovulación postparto, siendo menos variable cuando la longitud del día aumenta.

23.13. RECOLECCIÓN Y EVALUACIÓN DE SEMEN

Para realizar la recolección de semen se requiere contar con una hembra en estro, o bien si el garañón está entrenado se puede utilizar un maniquí de montas ("potro de montas") (figura 23.11).

Si se utiliza una yegua, ésta deberá estar en estro; a la hembra se le venda la cola, para evitar laceraciones. Además, a la yegua se le debe poner un tirapié para evitar que patee al garañón o al operador al momento del cortejo o de la recolección del semen. Si se pretende utilizar un maniquí, es necesario entrenar al macho durante varias semanas o meses, dependiendo de su libido, estimulándolo con la presencia de una yegua en estro para acostumbrarlo poco a poco a montar al maniquí. Antes de recolectar el



Figura 23.11. Manejo del semental para la recolección de semen a través de un potro de monta. Obsérvese a la yegua que se encuentra delante del potro de montas para mantener interesado al semental



Figura 23.12. El lavado del pene se debe realizar con plena erección peneana, para facilitar su limpieza completa

semen se debe lavar el pene al garañón, lo que debe realizarse delante de una yegua en celo para que el macho tenga una erección y pueda procederse al lavado. El pene se asea exclusivamente con agua tibia, posteriormente se debe secar (figura 23.12).

Para la recolección de semen en el equino se usa generalmente una vagina artificial, la cual se basa en un aparato rígido o semirrígido con sus respectivas mangas de látex, el receptáculo de semen y una válvula de presión (figura 23.13).

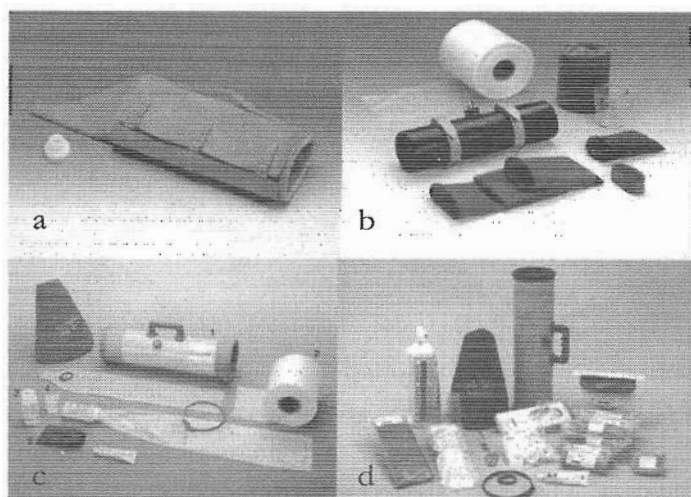


Figura 23.13. Modelos diferentes de vaginas artificiales para la recolección de semen en el garañón: *a)* vagina Missouri, *b)* vagina Hannover, *c)* y *d)* vagina Colorado

23.14. EVALUACIÓN DEL SEMEN

El volumen total del eyaculado es de 60-70 ml, con un rango de 30 a 300 ml; su color es blanco pálido con apariencia de leche descremada. El pH del semen equino es ligeramente básico con un rango de 7.2 a 7.7; se determina usando un potenciómetro preferentemente en la primera hora después de la recolección de semen. El espermatozoide equino es muy frágil, por lo cual el recipiente colector no se debe exponer a la luz directa ni a cambios bruscos de temperatura. Para ello se debe mantener dentro de una incubadora o baño María a una temperatura de 38 °C.

La primera variable microscópica a evaluar es la motilidad progresiva. Esta variable es muy importante, ya que existe una alta correlación entre el porcentaje de motilidad progresiva y la fertilidad. El porcentaje normal de motilidad progresiva es de 75%, con un rango de 60 a 95%. La concentración espermática del garañón es de 150-300 millones/ml. Existen aparatos especializados para la medición de la concentración espermática, como el Spermacue (figura 23.14A). Se utiliza una muestra de semen no diluida y cuenta con una calibración automática, dando inmediatamente el resultado en millones de espermatozoides/ml y opera con baterías. Mientras que el segundo es también un densímetro equino (figura 23.14B) que estima rápidamente la concentración espermática de número de espermatozoides/ml de semen libre de gel y ejecuta todos los cálculos requeridos para procesar semen de uso inmediato o refrigerado. Este densímetro cuenta con un software para conservar toda la información de los eyaculados de los garañones en una

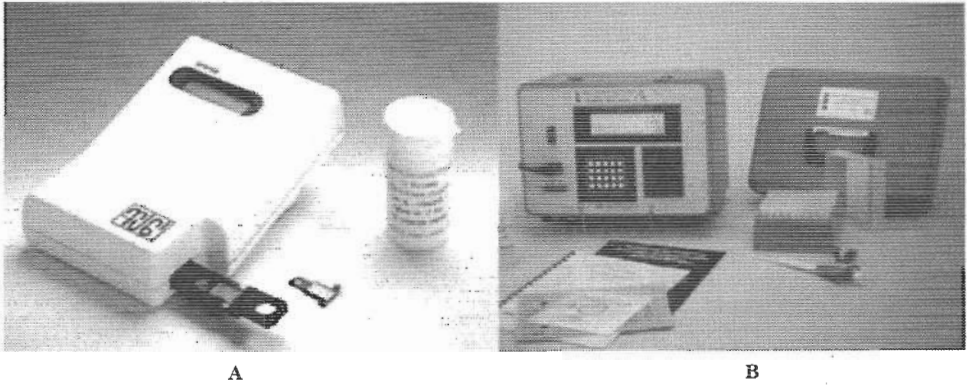


Figura 23.14. Diferentes aparatos que se utilizan para medir la concentración espermática en equinos

computadora personal. Este aparato cuenta con un sistema experto que puede ser calibrado para permitir medir la concentración espermática de otros animales domésticos.

23.15. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

La inseminación artificial (IA) consiste en recolectar semen de un garañón e introducirlo en el cuerpo del útero de la yegua. El semen puede ser fresco, frío o congelado. En caso de que se utilice semen frío, se requerirá de un termo especial para mantener semen refrigerado (“equitainers”). Este equipo ha resultado exitoso en el transporte de semen, ya que el diseño permite enfriar el semen lentamente ($-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min.}$) hasta conservarlo a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura es conservada hasta por 60-72 horas (figura 23.15).

Esta técnica tiene muchas ventajas, como son el mejoramiento genético, mejor aprovechamiento del garañón, y la evaluación inmediata del semen del macho. Sin embargo, se debe tener presente que algunas asociaciones



Figura 23.15. Equitainer, termo para mantener el semen frío a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 36 horas

como la Jockey Club (Pura Sangre) y la asociación norteamericana de caballos miniatura no permiten la inseminación artificial.

Los espermatozoides equinos se caracterizan por mantenerse viables durante un periodo relativamente largo dentro del aparato genital de la hembra; no obstante existe mayor probabilidad de concepción cuando el servicio se realiza entre 1 y 3 días antes de la ovulación que cuando se realiza 4 o más días antes de la misma. La máxima probabilidad de concepción parece lograrse cuando la monta natural o la inseminación artificial con semen fresco se realizan entre 24 y 48 horas antes de la ovulación. En el caso de inseminación artificial con semen congelado, se obtienen mejores resultados inseminando dentro de las 12 horas previas a la ovulación.

La predicción del momento de la ovulación puede realizarse mediante palpación rectal o ultrasonografía. Esta predicción se basa principalmente en el tamaño del folículo más grande presente en los ovarios durante el estro. Típicamente, el estro se inicia cuando la yegua tiene un folículo de 20 a 30 mm de diámetro. Sin embargo, generalmente la ovulación solamente ocurre cuando el folículo ha alcanzado por lo menos 40 mm de diámetro. Durante el estro, el folículo crece a un ritmo de 3 a 4 mm por día. Entre más grande sea el folículo al inicio del estro, menos tiempo se requerirá para que ese folículo alcance el tamaño requerido para la ovulación.

Como se mencionó anteriormente, la ovulación puede inducirse mediante la aplicación de gonadotropina coriónica humana (hCG), la cual tiene efecto de hormona luteinizante.

23.16. DIAGNÓSTICO DE GESTACIÓN

Uno de los principales objetivos del diagnóstico temprano de la gestación es identificar lo antes posible a las yeguas que no lograron concebir, lo que permite tomar las medidas apropiadas para intentar lograr la gestación lo más rápidamente posible. Otro objetivo del diagnóstico temprano de gestación es el diagnóstico de gestaciones gemelares. En el equino es muy importante identificar las gestaciones gemelares lo antes posible debido a que la yegua no tiene la capacidad de mantener gestaciones dobles, por lo que la gestación casi invariablemente termina en aborto si uno de los dos embriones no muere en forma natural o es destruido artificialmente. La reducción artificial del número de embriones es mucho más exitosa entre más temprano se realice. Aunque se han descrito diversos métodos para el diagnóstico de gestación en el equino, los únicos métodos realmente prácticos son la palpación rectal y la ultrasonografía; sin embargo las mediciones hormonales pueden ser de gran utilidad en caso de no contar con un especialista en la zona.

Se puede diagnosticar gestación por palpación rectal desde el día 18 postservicio basándose en cambios en el útero y los ovarios. Para emitir un diagnóstico de gestación positivo es necesario localizar el abultamiento que se forma cerca de la bifurcación uterina, sitio donde se fija la vesícula embrionaria entre el día 18 y el día 60 de la gestación.

En los ovarios, entre el día 36 y 42 se forman varios folículos secundarios, lo que provoca que uno de los dos tenga un tamaño mayor que durante el celo. Los cuerpos lúteos secundarios que se forman a partir de dichos folículos tampoco son palpables a pesar de que varios de ellos permanecen en los ovarios hasta el día 100 o 120 de la gestación.

El tono y la tubularidad del útero se incrementan por efecto de la progesterona hasta los días 19 a 21 postinseminación, momento en el que el complejo embrionario provoca una disminución en el tono, con adelgazamiento de las paredes del cuerno y cuerpo uterino.

Por medio de ultrasonografía, la vesícula embrionaria se puede observar desde los 9 días postovulación. Para ello se debe utilizar un aparato con transductor lineal de 5 o 7.5 Mhz. Sin embargo, lo más usual es examinar a la yegua entre los días 17 y 20. A las yeguas con historia de gestaciones gemelares se les debe realizar el diagnóstico un poco antes, entre los días 12 y 15, ya que las vesículas embrionarias aún no se han fijado, lo que permite asegurarse de que estén separadas una de la otra al momento de realizar la presión para eliminar una de ellas.

Desde el día 10 hasta el día 15 de la gestación, la vesícula embrionaria se observa como una esfera oscura uniforme con áreas brillantes ecogénicas en los polos dorsal y ventral, los cuales son reflejos especulares. El área

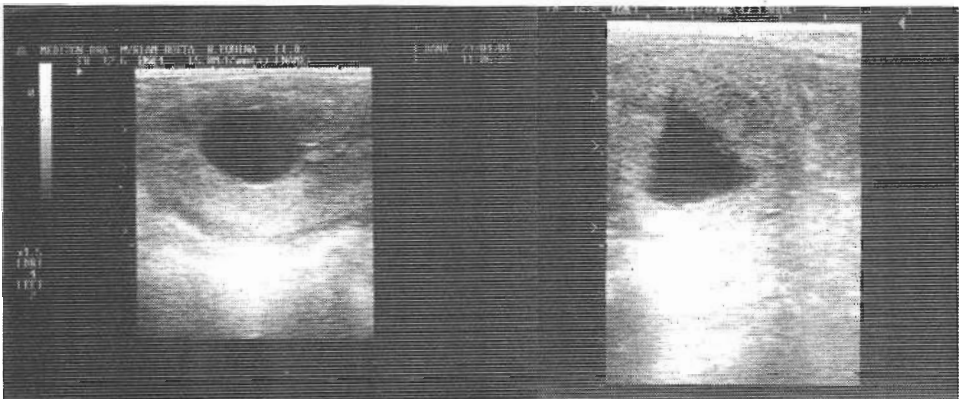


Figura 23.16. En el lado izquierdo se observa una vesícula embrionaria esférica con reflejos especulares en los polos dorsal y ventral que corresponde a una gestación de 14 días de edad, mientras que en el lado derecho se observa una vesícula de forma triangular correspondiente a una gestación de 17 días

ecogénica del polo dorsal de la vesícula ayuda a la localización del saco vitelino temprano.

En el día 18 de la gestación, la vesícula embrionaria empieza a expandirse y a perder su forma esférica para adoptar una forma irregular, la cual tiende a ser triangular (figura 23.16). Entre los días 20 y 25 la vesícula permanece de forma irregular y es posible observar al embrión dentro de la vesícula, generalmente en posición ventral. Desde el día 22 o 23 es posible detectar el latido cardíaco, el cual debe verificarse siempre para asegurarse de que el embrión esté vivo.

A partir del día 24 comienza a crecer el alantoides, localizándose ventralmente al embrión, mientras que el saco vitelino, localizado dorsalmente al embrión, va reduciendo su tamaño. Por lo cual entre el día 25 y 33 de la gestación se puede observar una línea ecogénica conjuntamente con el embrión que separa a las membranas vitelina (arriba del embrión) y alantoidea (abajo del embrión) (figura 23.17).

El cordón umbilical surge del polo dorsal del corión y comienza a alargarse a partir del día 40, por lo que el embrión, que se encuentra en decúbito dorsal, va cayendo hacia la parte inferior de la vesícula, manteniéndose suspendido del polo dorsal por el cordón umbilical, el cual se observa como una línea ecogénica vertical (figura 23.18).

En el día 50 el embrión ya se encuentra totalmente formado, pudiéndose identificar con relativa claridad sus diferentes partes.

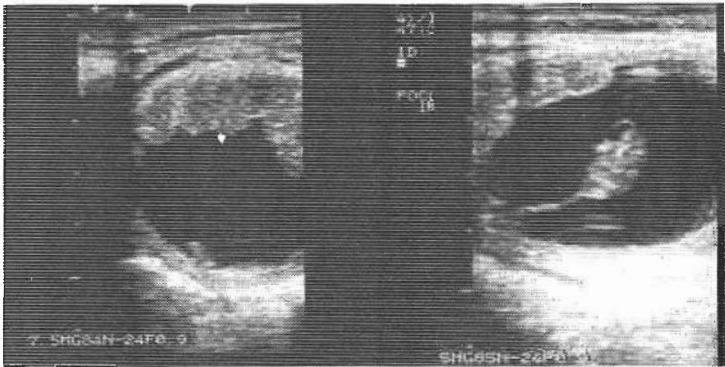


Figura 23.17. En la parte izquierda se observa una gestación de 21 días de edad, donde se observa el embrión surgiendo de la parte ventral de la vesícula embrionaria, mientras que en la parte derecha se encuentra una gestación de 33 días, donde se observa una línea ecogénica que separa a las membranas placentarias; ventralmente al embrión se observa el alantoides y dorsalmente el vitelino

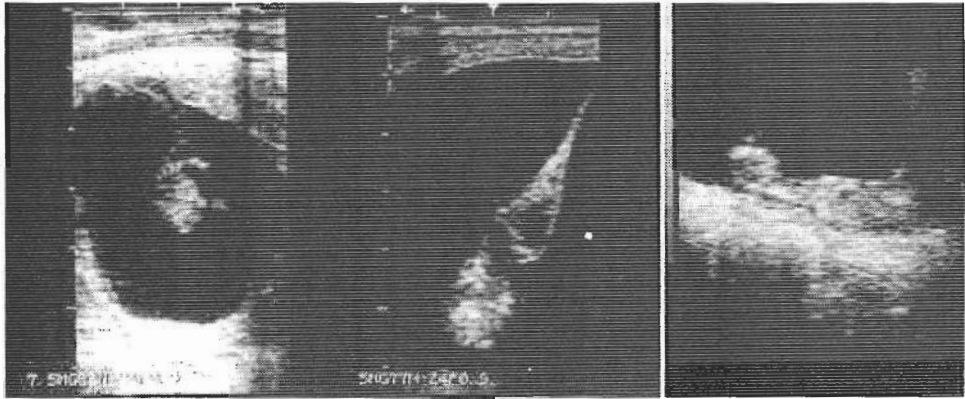


Figura 23.18. En la imagen izquierda se observa una gestación de 40 días, el feto se encuentra en la parte dorsal de la vesícula, sosteniéndose a través del cordón umbilical; en la imagen de en medio se observa una gestación de 50 días donde el feto se ha desplazado hasta la parte ventral unido a través del cordón umbilical; y la imagen de la derecha se trata de una gestación de 55 días donde se puede observar el feto descansando sobre su dorso

En etapas más avanzadas, tanto el feto como la vesícula son demasiado grandes para poder observarse completos con un transductor de 5 Mhz. Por lo mismo, en gestaciones de más de 55 días se debe usar un transductor de 3 Mhz para observar en su totalidad al cordón umbilical y al feto. En gestaciones de más de 150 días es recomendable realizar un examen ultrasonográfico transabdominal, ya que por vía transrectal no será posible observar al feto (figura 23.19).

Como alternativa a la palpación rectal y al ultrasonido, se tiene el empleo de métodos de laboratorio, específicamente aquellos que dependen de la detección de cambios hormonales que ocurren debido a la presencia del producto, y que son detectables mediante el análisis inmunológico de plasma

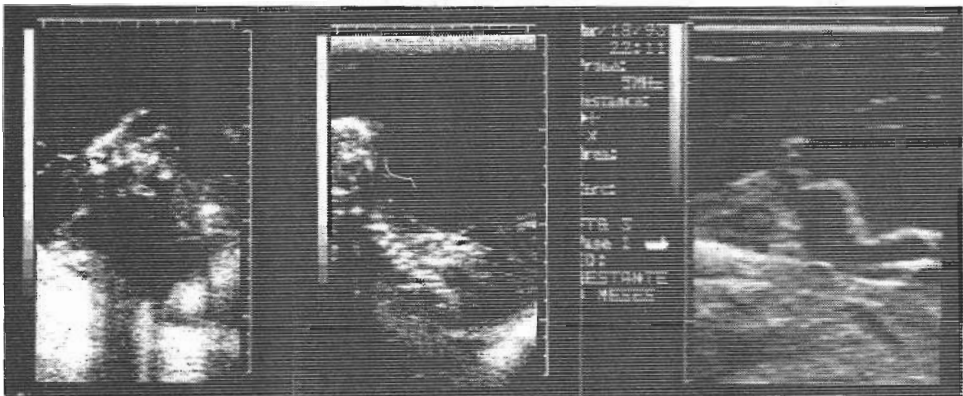


Figura 23.19. Imágenes ultrasonográficas obtenidas a través de la vía rectal de una gestación de 150 días. En la primera se puede observar la cavidad orbital, en la segunda se observa parte de la columna vertebral y en la tercera se advierte el cordón umbilical

o suero materno. Aunque estos tipos de prueba requieren de personal capacitado y equipo costoso, dichos recursos pueden estar centralizados en un solo laboratorio que pueda dar servicio a una amplia región geográfica.

Una de las hormonas que se pueden utilizar en la yegua para detectar la gestación es la gonadotropina coriónica equina (eCG), la cual es producida por las copas endometriales de origen trofoblástico. El crecimiento de estas copas y el incremento rápido en las concentraciones de la hormona tienen lugar entre los días 40 y 80 de gestación. Se puede detectar en la sangre materna desde el día 35 al 42 postservicio, a partir de los cuales se incrementan rápidamente hasta alcanzar un pico en los días 55 a 65 y declina lentamente a niveles indetectables entre los días 120 y 150.

También es posible realizar diagnóstico de gestación mediante la detección de sulfato de estrona, a partir del día 60 de la gestación. El sulfato de estrona es un metabolito de la estrona, el cual es producido en la unidad feto-placentaria.

23.17. EXAMEN REPRODUCTIVO DEL SEMENTAL

El objetivo de realizar un examen de la salud reproductiva del garañón es determinar si tiene la capacidad, tanto física como de comportamiento, que aseguren un buen desempeño reproductivo.

23.17.1. Nutrición

El semental debe tener una buena condición corporal. La mayoría de los sementales consumen de 2 a 2.5% de su peso corporal en comida al día, de la cual más de la mitad debe ser forraje. Durante la temporada de servicios el semental debe ser mantenido con una dieta que contenga 14% de proteína; fuera de la temporada la dieta debe contener 12% de proteína.

23.17.2. Instalaciones

Es muy importante que el semental no esté aislado del movimiento general del rancho. Aquellos sementales que se aburran están propensos a convertirse en graves problemas de manejo. Sus caballerizas deben estar amplias, bien ventiladas y tener acceso a un potrero o corral donde el caballo pueda distraerse.

23.17.3. Ejercicio

El ejercicio mantiene al semental en buenas condiciones, además de que evita el aburrimiento. La mayoría de los sementales realizarán suficiente ejercicio si se les suelta en sus corrales durante el día, aunque hay granjas donde se les ejercita de mano o incluso se les monta.

23.17.4. Vicios

Los más comunes son tragar aire, morder madera, el “baile del oso” y la masturbación. La masturbación es un vicio que anteriormente se pensaba que disminuía la concentración espermática, así como la libido. Sin embargo, actualmente se sabe que este vicio no afecta significativamente ni la calidad de semen ni la libido del equino. De cualquier manera, los vicios son por lo general producto del aburrimiento, por lo que es más fácil prevenirlos que curarlos.

23.17.5. Conducta sexual

La conducta sexual del garañón se puede dividir en: cortejo y apareamiento. El cortejo son todos aquellos patrones de conducta por medio de los cuales el macho y la hembra se hacen saber que fisiológicamente están listos para la cópula. Durante el cortejo los animales detectan mediante los órganos de los sentidos las señales visuales, auditivas, olfatorias y táctiles enviadas por el individuo del sexo opuesto. El semental se aproxima a la yegua con paso encabritado y cuando está próximo a la yegua comienza su exploración olfatoria de frente a la yegua, así como de la región genital y de la orina de la yegua. Después del contacto oronasal, el semental manifiesta el característico signo de Flehmen, que consiste en levantar la cabeza, replegando los labios de tal manera que muestre los dientes (figura 23.20).

El apareamiento o cópula implica la erección, la monta, la inserción del pene, los movimientos pélvicos por parte del macho, la postura de la hembra y la eyaculación del garañón. La eyaculación es un proceso secuencial

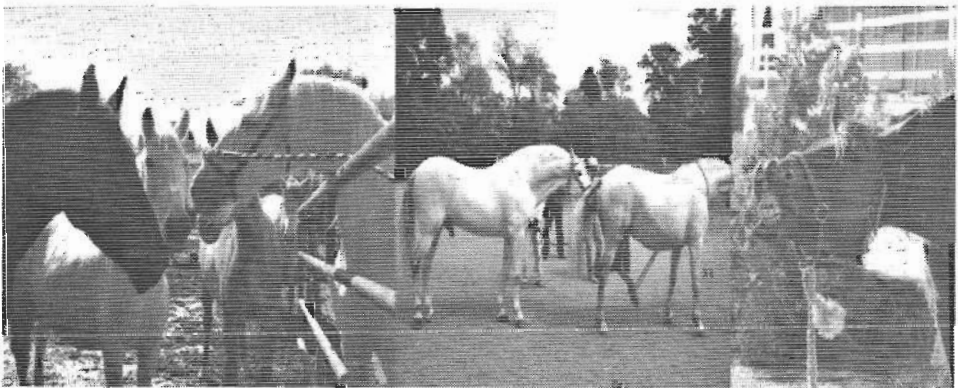


Figura 23.20. Momento del recelado en el que el semental se presenta de frente a las yeguas; posteriormente la yegua que muestra signos de estro se separa y a ésta se le recela individualmente. El caballo realiza la exploración olfatoria de la región genital, detectando las feromonas a través de la orina y mostrando el clásico signo de Flehmen

que envuelve tres eventos: erección, emisión y eyaculación. La erección es el alargamiento y endurecimiento del pene, como resultado del llenado del cuerpo cavernoso del pene con sangre, así como también del cuerpo esponjoso del pene. La emisión es el movimiento y depósito de espermatozoides y fluido que proviene desde el conducto deferente y la cola del epidídimo, así como de fluido de las glándulas accesorias dentro de la uretra pélvica. La eyaculación es la expulsión del semen a través de la uretra. Estos estímulos provocan una serie de fuertes contracciones pulsátiles de los músculos uretrales y bulboesponjosos que provocan la salida violenta del semen durante la eyaculación. Durante este proceso la próstata secreta fluido acuoso dentro de la uretra pélvica y parte de este fluido prostático constituye la fracción pre-espermática. La siguiente fracción ya incluye a la fracción espermática, rica en espermatozoides y secreciones del epidídimo y probablemente fluidos prostáticos y bulbouretrales. Normalmente hay de 3 a 6 descargas secuenciales de fluido rico en espermatozoides. Aunque no siempre está presente el gel o fracción postespermática, ésta se deriva de las vesículas seminales. La función del gel no es conocida, pero no está relacionada con la fertilidad. Durante la eyaculación, el garañón mueve la cola hacia arriba y hacia abajo rítmicamente, movimiento conocido como bandereo.

23.17.6. Examen de la salud reproductiva

El examen reproductivo del semental consta de: historia clínica, examen físico general, examen de los órganos genitales, evaluación de la conducta sexual (libido y capacidad para la monta), y evaluación del semen (cuadro 23.1). Para diagnosticar condiciones reproductivas anormales en el garañón es indispensable tener conocimiento de la anatomía de sus órganos genitales. Este conocimiento también es útil para realizar la evaluación de la capacidad reproductiva del semental, así como para el desarrollo de procedimientos de manejo artificial de la reproducción, tales como la recolección de semen y la inseminación artificial.

La evaluación de la salud general del animal está también orientada a determinar la libido, habilidad del semental para la monta, y la capacidad reproductiva.

Se examina la condición física general del animal, incluyendo aspecto, pelaje, estado de carnes, y otras características que indican el estado general de salud, tales como la coloración de las mucosas. También se debe realizar la auscultación cardíaca y pulmonar y se deben buscar defectos de conformación tales como hipoplasia testicular, criptorquidismo, hernias inguinales, umbilicales, prognatismo superior e inferior y problemas de aplomos, alteraciones que pudieran ser heredables.

A continuación se examinará la conformación general del semental, poniendo atención especial en la columna vertebral, aplomos y miembros anteriores y posteriores, ya que estas partes anatómicas intervienen directamente en el momento de la cópula.

Posteriormente debe realizarse un examen oftalmológico, para lo cual se examinan las estructuras del ojo con un oftalmoscopio, lo que permitirá excluir la posibilidad de ceguera, ya que esta condición dificulta el acto de la monta.

Por último se recomienda realizar un examen del olfato, el cual resulta complicado, no obstante que el signo de Flehmen es un indicador bastante confiable de la integridad y funcionamiento de este órgano.

23.17.7. Examen de los órganos genitales

Este examen consta de la revisión de los genitales externos e internos.

Los testículos y el epidídimo son palpados a través de la pared escrotal para determinar el tamaño, forma, simetría y consistencia. Los testículos se examinan inicialmente uno por uno para determinar sus medidas. Los testículos normales miden de 8 a 12 cm de largo, 5 a 7 cm de altura y 4.5 a 6 cm de ancho. Posteriormente se palpan los dos testículos juntos para determinar el ancho escrotal, que normalmente varía de 9 a 13 cm. La evaluación del ancho escrotal se debe realizar cuando el pene no esté erecto, ya que la erección ocasiona que los testículos se separen uno del otro. Ambos testículos deben tener aproximadamente la misma forma, consistencia y tamaño, aunque algunas veces el testículo derecho es ligeramente más grande que el izquierdo. El epidídimo se palpa para determinar su tamaño, forma, consistencia y localización. La cabeza del epidídimo se encuentra en posición anterior y superior con respecto a los testículos. El cuerpo del epidídimo corre dorso-lateralmente a lo largo del testículo, siendo una estructura estrecha que mide de 5 a 10 mm de diámetro. La cola del epidídimo se encuentra localizada caudalmente con respecto al testículo, y es prominente, por lo cual es fácil de palpar en casi todos los machos; mide de 2 a 2.5 cm de diámetro y tiene una consistencia ligeramente suave y uniforme con respecto al epidídimo.

El cordón espermático se palpará craneal a la entrada de la pelvis, a cada lado de la línea media; mide de 2.5 a 3 cm de diámetro y es de una consistencia suave y uniforme. El conducto deferente es una estructura tubular que no puede delinearse debido a que se encuentra rodeado por el músculo cremáster y la vena espermática.

El escroto es una estructura que se evalúa mientras se palpan los testículos. La piel del escroto debe ser delgada y flexible, al tacto se encuentra lubricada debido a la presencia de glándulas sebáceas y sudoríparas.

Cuadro 23.1. Características normales del semen equino

Características	RANGO	PROMEDIO
Volumen total (ml)	30-200	70
Porción libre de gel	40-75	58
Gel	0-200	27
Concentración (millones/ml)	30-800	120
Motilidad progresiva (%)	60-95	78
Morfología normal (%)	65-95	75
Ph	6.8-7.8	7.4

Para evaluar el pene y el prepucio es necesario estimular al semental para provocar que el garañón se excite y el pene tenga erección. El pene se examina cuidadosamente, poniendo atención especial en el proceso uretral y el divertículo, donde se puede encontrar acumulación de esmegma, el cual es de consistencia densa y color café negruzco, aunque algunas veces se observa de color violeta cuando pigmenta la piel del prepucio. El pene y el pliegue interno y externo del prepucio se examinan mientras permanece la erección.

Las glándulas sexuales accesorias del garañón están localizadas internamente, por lo que se evalúan por vía rectal. La preparación y contención del semental será igual que la que se realiza para palpación rectal de la hembra.

Las ámpulas se localizan cerca de la línea media del piso de la pelvis, y son un ensanchamiento de la parte distal del conducto deferente. Las ámpulas descansan sobre el borde anterior pélvico y sobre uno de los extremos de la vejiga urinaria, dando una apariencia de Y. Miden aproximadamente de 12 a 20 cm de largo y tienen de 1.5 a 2.5 cm de diámetro. Las vesículas seminales son glándulas pares con una delgada pared elongada y de forma ligeramente piriforme. Miden aproximadamente de 8 a 10 cm de longitud y de 3 a 5 cm de diámetro, tienen una consistencia flácida. La palpación de las vesículas se debe realizar antes que la recolección de semen, para que se encuentren plétóricas de secreciones gelatinosas que hacen que se distiendan y sea fácil su localización.

La próstata y las glándulas bulbouretrales no pueden ser palpadas rectalmente debido a que la primera se encuentra cubierta por tejido retroperitoneal, mientras que las glándulas bulbouretrales se encuentran profundamente enclavadas bajo los músculos bulbouretrales.

23.18. LITERATURA RECOMENDADA

- Adams, G.P., y Bosu, W.T.K. 1988. *Reproductive physiology of the no pregnant mare*. Vet Clin N AM- Equine 4:161.
- Allen, W.E. 1988. *Fertility and obstetrics in the horse*. Black well Scientific Publication, Oxford. 1-5 p.
- Curran, S., y Ginther, O.J. 1993. *Ultrasonic fetal gender diagnoses during months 5 to 11 in mares*. Theriogenology 40:1127.
- Daels, P.F., y Hughes, J.P. 1993. "The normal estrous cycle". En: McKinnon A.O., y Voss, J.L. (Eds). *Equine reproduction*. Lea and Febiger. 121-126 p.
- Dowsett, F.K., Knott, M.L., Woodward, A.R., y Boderro, V.A.D. 1993. *Seasonal variation in the estrous cycle of mares in the subtropics*. Theriogenology 39:631.
- Flood, P. F. 1993. "Fertilization, early development, and the establishment of the placenta". En: McKinnon, A. O, and Voss, J. L. (eds). *Equine reproduction*. Lea & Febiger, Philadelphia. 473-485 p.
- Gahne, S., Ganheim, A., y Malmgrem, L. 1998. *Effect of insemination dose on pregnancy rate in mares*. Theriogenology 49:1070.
- Ginther, J.O. 1992. *Reproductive biology of the mare: Basic and applied aspects*. Equiservices, Cross Plains, WI.
- Ginther, J.O. 1986. *Ultrasonic imaging and reproductive events in the mare*. Equiservices, Cross Plains WI.
- Graham, T.W., Giri, S.N., Daels, P.F., Cullor, J.S., Keen, K.L., Thurmond, M.C., Dellinger, J.D., Stabenfeldt, G.H., y Osburn, B.J. 1995. *Associations among prostaglandin F2alpha, Plasma Zinc, Copper and Iron concentrations and Fetal loss in cows and mares*. Theriogenology 44:379.
- McKinnon, A. O., y Voss, J. L. 1993. (eds). *Equine reproduction*. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Roser, J.F. 1997. *Endocrine basis for testicular function in the stallion*. Theriogenology 48:883.
- Roser, J.F. 1995. *Endocrine regulation of reproductive function infertile, subfertile and infertile stallion*. Reprod Domest Anim 30:245.
- Samper, J.C. 2000. *Equine breeding management and artificial insemination*. WB. Saunders Company. Philadelphia.
- Sharp, D.C. 1993. "Maternal recognition of pregnancy". En: McKinnon, A. O., y Voss, J. L. (eds). *Equine reproduction*. Lea & Febiger, Philadelphia. 487-493 p.
- Squires, E.L. 1993. "Endocrinology of pregnancy". En: McKinnon, A. O., y Voss, J. L. (eds). *Equine reproduction*. Lea & Febiger, Philadelphia. 495-500 p.

24. CERDOS

JOAQUÍN BECERRIL ÁNGELES / MARÍA ELENA TRUJILLO ORTEGA

- 24.1. INTRODUCCIÓN
- 24.2. PUBERTAD Y MANEJO DE LA CERDA A PRIMER SERVICIO
- 24.3. CICLO ESTRAL
- 24.4. DETECCIÓN DEL ESTRO
- 24.5. MOMENTO DEL SERVICIO
- 24.6. SINCRONIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DEL ESTRO
- 24.7. GESTACIÓN
- 24.8. DIAGNÓSTICO DE GESTACIÓN
- 24.9. PARTO
- 24.10. INDUCCIÓN DEL PARTO
- 24.11. LACTANCIA Y REINICIO DE LA ACTIVIDAD OVÁRICA POSTPARTO
- 24.12. CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL ÚTERO DURANTE LA LACTANCIA
- 24.13. DESTETE
- 24.14. ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL MACHO
- 24.15. LITERATURA RECOMENDADA

24.1. INTRODUCCIÓN

La industria porcina en los últimos años ha experimentado una importante transformación, incrementando con ello las exigencias en la eficiencia reproductiva de los cerdos (figura 24.1). En el caso de la cerda, se



Figura 24.1. Las camadas numerosas son el resultado de un buen manejo reproductivo

espera obtener el mayor número de lechones al parto en el menor tiempo posible.

Este incremento de la productividad de la cerda exige poner más atención en el manejo reproductivo, de lo contrario se incrementan los problemas reproductivos en la piara.

24.2. PUBERTAD Y MANEJO DE LA CERDA A PRIMER SERVICIO

En general, se ha observado que la presentación de la pubertad es a partir de los 170 días de edad con un peso aproximado de 75 a 90 kg, y que el primer estro va acompañado con la ovulación. En realidad, existe un rango de 4 a 9 meses para que las cerdas presenten la pubertad, debido a la existencia de factores que estimulan o inhiben su presentación, como el genotipo, el ambiente, los niveles nutricionales y el manejo e instalaciones a los que son expuestas, así como el estado sanitario.

Entre las diferentes razas porcinas existe una diferencia de 20 días en la edad a la pubertad, y la heterosis la reduce. Los factores climáticos como la temperatura ambiental también influyen en el momento de la aparición de la pubertad; así, durante los meses calurosos se retrasa y el incremento en la duración del fotoperiodo acelera su presentación.

El confinamiento afecta la eficiencia reproductiva de las hembras; en general, en las granjas de tipo intensivo se ha visto un incremento de problemas reproductivos: aumento en la presentación de estros silenciosos en cerdas alojadas en jaulas, disminución en la presentación de estros, a medida que aumenta el número de cerdas alojadas en corral; sin embargo, es posible lograr la sincronización natural de estros en grupos de 10 cerdas alojadas en un corral.

El peso y el crecimiento están interrelacionados con la suplementación o restricción de la alimentación de los animales. Una restricción del 50% de los requerimientos de energía, retrasa la presentación de la pubertad. Por lo que respecta a otros elementos como la grasa, vitaminas y minerales, se considera que tienen efecto mínimo; sin embargo, severas deficiencias de vitaminas A y B₁₂, y manganeso, pueden retrasarla.

Se ha observado una aparición de la pubertad más temprana en cerdas jóvenes que tuvieron contacto con sementales después de los 150 a 170 días de edad, que en cerdas a las que no se les permitió interacción con machos o que permanecieron en aislamiento total. Las feromonas del macho parecen ser importantes para la estimulación de las hembras próximas a la pubertad. En la actualidad el contacto de las hembras con machos puede ser

de la siguiente forma: indirecto, el cual puede darse a través de una ventana en corrales adyacentes o enfrente uno a otro, o bien por el paseo del semental; la forma directa del contacto consiste en introducir al macho vasectomizado a un corral con un grupo de hembras, durante un lapso desde 15 minutos hasta 12 horas (en una exposición de tipo temporal), o dejarlo permanecer en él por varios días, tomando en cuenta que es necesario rotar o cambiar a los machos para que el efecto sobre las cerdas sea más eficiente. Se recomienda que la rotación sea cada 3 días como máximo.

Existen dos estrategias sobre la edad y el peso corporal de la cerda al primer servicio. La primera consiste en aparear a la cerda a la pubertad, con el propósito de disminuir el costo de la alimentación durante los días no productivos, desde su ingreso a la piara reproductora hasta que queda gestante. El segundo procedimiento consiste en retrasar el servicio hasta el tercero o cuarto celo postpuberal, el cual podrá ocurrir entre los 220 a 230 días de edad, con un peso corporal de 130 a 140 kg, y con un grosor de 18 a 20 mm de grasa dorsal, ello con el propósito de incrementar la productividad y la vida productiva de la cerda.

24.3. CICLO ESTRAL

El ciclo estral de la cerda dura en promedio 21 días, con un rango de 18 a 24 días. Debido a que la cerda es poliéstrica continua, los ciclos se pueden repetir siempre que no exista gestación, lactación, o el efecto de alguna entidad patológica. Se ha considerado de manera arbitraria que el ciclo estral de la cerda comprende cuatro etapas: metaestro, diestro, proestro y estro.

24.3.1. Metaestro

Dura dos días aproximadamente y se caracteriza por la presencia de los cuerpos hemorrágicos, a partir de los cuales se comienzan a formar los cuerpos lúteos. Al realizar una biopsia vaginal se puede observar que el epitelio tiene de 3 a 6 estratos celulares.

24.3.2. Diestro

La duración de esta fase es de aproximadamente 14 días. En este lapso, bajo el estímulo de la hormona LH, el cuerpo lúteo se reorganiza hasta alcanzar su máximo desarrollo al día 12 a 14 del ciclo estral. Simultáneamente, las concentraciones de progesterona comienzan a aumentar hasta alcanzar su máximo nivel (25-35 ng/ml) entre el décimo y catorceavo día, y permanecen funcionales hasta el final de la gestación. Si no ha ocurrido la concepción, el cuerpo lúteo es destruido al final del diestro por la acción de $\text{PGF}_2\alpha$ de

origen uterino. El epitelio vaginal se encuentra constituido por 3 a 6 capas celulares; sin embargo, a diferencia del metaestro, la altura de las células epiteliales es significativamente mayor.

24.3.3. Proestro

El proestro dura de 2 a 3 días; sin embargo, su duración se puede reducir hasta a un día en las cerdas primerizas. En esta etapa se lleva a cabo el proceso de crecimiento y maduración folicular. Durante la proliferación folicular, existe un proceso continuo de crecimiento y atresia dentro de un grupo de folículos; sin embargo, es más grande el número de folículos que involucionan que el de los destinados a la ovulación. Para el día 16 del ciclo estral existe una gran cantidad de folículos de entre 1 a 6 mm de diámetro; posteriormente, entre los días 16 a 21 disminuye el número de folículos, pero los que permanecen continúan aumentando de tamaño para llegar a medir de 8 a 10 mm de diámetro poco antes de la ovulación. Durante esta fase, los folículos en desarrollo comienzan a producir cantidades crecientes de estrógenos. Esta etapa se caracteriza por enrojecimiento y tumefacción de los labios vulvares, así como por la alteración en el comportamiento de la cerda, que se observa inquieta y deseosa de montar a otras cerdas.

La elevación en la concentración de estrógenos que ocurre durante el proestro desencadena el inicio del estro. Además, los estrógenos estimulan al hipotálamo para que produzca un pico de secreción de GnRH, que a su vez provoca una descarga hipofisiaria de LH, hormona responsable del desencadenamiento de la ovulación y de la formación del cuerpo lúteo.

24.3.4. Estro

Es la fase durante la cual la cerda es sexualmente receptiva al macho. Durante esta etapa ocurre la maduración final de los folículos, los cuales alcanzan su máximo nivel esteroideogénico, produciéndose un pico preovulatorio de estrógenos. La duración de esta etapa es de 2 a 3 días, con un promedio de 50 horas; sin embargo, el periodo de aceptación al macho puede prolongarse, si hay contacto con un semental. En la cerda primeriza el estro tiende a ser más corto y existen diferencias entre razas y épocas del año; es importante hacer notar que el estro inicia por lo general durante la madrugada. Durante el estro los niveles de estrógenos circulantes alcanzan su máximo nivel (60-90 pg/ml); esta oleada de estrógenos desencadena el pico preovulatorio de LH, y consecuentemente la ovulación. Los niveles plasmáticos de LH (5-7 ng/ml) se mantienen elevados durante 12 a 20 horas y posteriormente retornan a sus niveles basales (< 1.0 ng/ml).

En la cerda la ovulación ocurre de forma espontánea, y se produce entre las 36 y 40 horas después del comienzo del estro. La cerda puede producir de 10 a 30 óvulos durante un mismo estro, en un lapso de 4 horas aproximadamente; es decir, la ovulación no ocurre en forma repentina, sino de manera gradual. La vida de los óvulos es de 6 a 8 horas después del momento de la ovulación y alcanzan el sitio de la fertilización en dos horas. Durante el estro, la vagina responde a los niveles elevados de estrógenos con un engrosamiento epitelial, el cual alcanza un espesor de 12 o más capas celulares. En esta etapa la porción interna de la vulva está congestionada y húmeda por las secreciones de la vagina y de otros segmentos del aparato reproductivo.

24.4. DETECCIÓN DEL ESTRO

La detección del estro es de suma importancia, ya que una vez efectuada nos permitirá predecir el momento en el que puede ocurrir el inicio de la ovulación y así programar las montas naturales o las inseminaciones (figura 24.2).

Los signos de estro en la cerda son: inquietud, búsqueda del macho, hiperemia, edema vulvar, y puede o no montar a sus compañeras de corral; pero el signo más importante para determinar que una cerda está en estro es que acepte la monta por el macho, o bien que muestre la reacción de inmovilización o lordosis positiva a la prueba de cabalgue. Es decir, que se mantenga quieta cuando el operador "intente" montarla o al efectuar presión sobre su lomo. Este signo es más efectivo cuando se tiene la presencia de un macho (90 ó 95% de las cerdas), en caso contrario solamente el 50% de las cerdas responden positivamente.

La detección de los signos de estro se debe efectuar por lo menos dos veces al día, una por la mañana y otra por la tarde, para, de esta forma,



Figura 24.2. La buena detección de celo debe incluir personal capacitado y un semental activo

programar y asegurar que los servicios sean llevados a cabo en el momento adecuado. Una correcta detección del celo debe comprender los siguientes puntos:

- Alojarse a las cerdas de preferencia en corrales (no más de 10 cerdas).
- Contar con sementales sexualmente activos.
- El personal debe estar capacitado y motivado para hacerlo dos veces al día.

24.5. MOMENTO DEL SERVICIO

Para determinar el momento óptimo del servicio, es necesario tomar en cuenta que la ovulación ocurre alrededor de las 36 horas después de iniciado el estro; en el caso de las primerizas puede ser unas horas antes. Si bien existe evidencia de que una sola monta o inseminación puede ser suficiente para dejar gestante a una hembra, se recomienda la realización de dos o tres servicios para con ello incrementar el tamaño de la camada. En el caso de dos apareamientos, el momento más adecuado para efectuar el servicio natural o la inseminación artificial debe ser aproximadamente 24 y 12 horas antes de que inicie la ovulación.

24.6. SINCRONIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DEL ESTRO

La sincronización del estro es una práctica utilizada en las granjas con el objetivo de agrupar o notificar a las cerdas en el área de servicios en un menor número de días, es decir disminuir los días a presentación del estro entre cerdas. Entre las técnicas a utilizar se pueden mencionar:

1. El uso de prácticas de manejo. Cerdas alojadas en corral, reagrupaciones, presencia de un macho vasectomizado o entero, la manipulación de la lactancia, entre otros.
2. Utilización de productos exógenos, como pueden ser hormonas (las más utilizadas son progesterona y eCG y hCG, solas o en combinación).
3. La combinación de los anteriores.

24.7. GESTACIÓN

La duración de la gestación es de 114 días con un rango de 110 a 120 días. Los niveles hormonales de progesterona producida básicamente por los cuerpos lúteos, alcanzan niveles altos a los 10 días siguientes al servicio y se

mantienen más o menos constantes durante toda la gestación hasta cerca del parto. Niveles de progesterona iguales o superiores a 6 ng/ml son indicativos de gestación. El papel de la progesterona ovárica es determinante para mantener la gestación; en el caso de ovariectomía en cualquier momento de la gestación, se produce el aborto.

La gestación se puede dividir en tres tercios: en el primero se llevan a cabo dos grupos de eventos: desarrollo embrionario y los procesos necesarios que ocurren entre el embrión y la madre para el mantenimiento de la gestación. Los óvulos son fecundados en la región del ámpula del oviducto; entre el cuarto y quinto día después del apareamiento ingresan al útero, donde quedan flotando y pueden trasladarse de uno a otro cuerno hasta que se inicie la implantación el día 13, y se realice el reconocimiento materno de la gestación. Para que ocurra este último proceso, se requieren como mínimo 4 embriones, de no ser así la gestación no continuará. En este primer tercio de la preñez se desarrollan casi todos los órganos, quedando estancados el sistema óseo y el muscular, provocando que de morir algún embrión, éste sea reabsorbido. En el segundo tercio se inicia la fase fetal, durante la cual ocurre la formación del esqueleto y se acelera el desarrollo de los diferentes órganos, quedando pendiente el tejido muscular; consecuentemente, si muere un feto, éste se momificará, debido a la deshidratación de los tejidos. En el tercer periodo de preñez se desarrolla el tejido muscular y los diferentes sistemas terminan su maduración; sin embargo, si algún feto muere en esta fase no es posible la deshidratación de los tejidos, por lo que el feto nace completo, pero su tamaño variará dependiendo del momento de su muerte; a este producto se le denomina mortinato.

24.8. DIAGNÓSTICO DE GESTACIÓN

Existen diversas técnicas para el diagnóstico de gestación que han demostrado ser las más prácticas y eficaces, éstas son la detección del retorno al estro, el método del ultrasonido y el método de la biopsia vaginal. Cabe hacer notar que existen otras, pero su uso no es frecuente, como son: palpación por vía rectal de la arteria uterina media, la detección de estrógenos en orina, la determinación de progesterona y sulfato de estrona en plasma sanguíneo y la técnica visual.

La detección del retorno al estro se realiza desde el día 18 postservicio hasta el día 23; éste se debe realizar dos veces al día, detectando visualmente los signos del estro que se mencionaron con anterioridad, y de ser posible con la presencia de un macho. Este método es muy utilizado por ser económico. El método del ultrasonido requiere del uso de un aparato especial. La detección por este método se basa en el fenómeno de Doppler por

cualquiera de dos técnicas, una de ellas detecta los fluidos y tejidos fetales. La otra técnica detecta el paso de la corriente sanguínea en el corazón fetal, cordón umbilical y vasos uterinos.

24.9. PARTO

Los signos prodrómicos del parto son el desarrollo mamario y vulvar, los cuales ocurren unos cuantos días antes. La secreción de calostro aparece entre 6 a 24 horas antes de ser expulsado en primer lechón. Otro signo es la inquietud, la cerda mordisquea lo que tenga a su alrededor e intenta hacer un nido. El parto se caracteriza por tres fases, en la primera se observa la dilatación del cuello del útero y el inicio de las primeras contracciones, y en algunas cerdas se observa líquido en la vulva; esta fase puede durar de 2 a 12 horas. La segunda fase es la expulsión de los lechones, su duración es en promedio de 150 minutos con un rango de 60 a 240 minutos, dependiendo del tamaño de la camada. La expulsión entre lechón y lechón es por lo general de 20 minutos aproximadamente, pero puede variar de 5 a 45 minutos. La tercera fase o expulsión de la placenta ocurre entre 60 a 240 minutos después de la salida del último lechón. La retención placentaria es rara en la cerda, excepto que aún exista algún lechón en el útero.

24.10. INDUCCIÓN DEL PARTO

La inducción del parto tiene como objetivo evitar la presentación del mismo durante la noche o los fines de semana; con ello se obtiene el beneficio de disminuir los lechones nacidos muertos por falta de atención durante el mismo.

El método para realizar la inducción es la utilización de PGF₂ α a la cerda dos días antes de la fecha probable del parto; el parto iniciará 36 horas después de la aplicación del producto.

24.11. LACTANCIA Y REINICIO DE LA ACTIVIDAD OVÁRICA POSTPARTO

Después del parto, las cerdas comienzan una nueva etapa fisiológica denominada lactancia. Durante esta fase la mayor parte del metabolismo está orientado a la producción de leche, lo que contribuye a un incremento en los requerimientos nutricionales. Los cambios en el manejo moderno de las granjas porcinas han provocado que la duración de la lactancia se haya disminuido paulatinamente. En la década de 1970 se permitían lactancias promedio de 50 días, mientras que para 1980, la duración de la lactancia disminuyó a 21 o a 28 días, siendo esta última más común. De esta manera se ha logrado obte-

ner hasta 2.5 partos por hembra al año. Esto ha permitido reducir el ciclo productivo sin afectar la viabilidad de los lechones, la cual se mantiene muy alta aun cuando la lactancia se acorta hasta 21 ó 28 días.

Las cerdas lactantes se caracterizan por presentar un anestro fisiológico. El estímulo de los lechones al succionar a la cerda durante el amamantamiento provoca dos efectos diferentes. El primero es estimular la producción láctea, y el segundo consiste en iniciar una retroalimentación negativa para disminuir la producción de FSH y LH y consecuentemente mantener el anestro lactacional. Durante la lactancia, la cerda presenta tres fases desde el punto de vista endocrino:

1. Fase hipergonadotrópica (2 a 3 días postparto). Durante esta fase ocurre una elevación de LH y FSH y un incremento de la población folicular de tamaño ovulatorio, los cuales secretan grandes cantidades de estrógenos. El amamantamiento suprime las gonadotropinas y produce una regresión de los folículos.
2. Fase de transición (3 a 14 días postparto). En este periodo, el amamantamiento incrementa los niveles tónicos de los opioides endógenos, los cuales bloquean los receptores a estrógenos en el hipotálamo e inactivan el mecanismo de retroalimentación positiva que aquéllos ejercen sobre este órgano; consecuentemente se inhibe la liberación de LH y FSH y los folículos de tamaño ovulatorio desaparecen. La cerda sufre una transición de fase hipergonadotrópica a fase hipogonadotrópica y entra a la etapa de anestro lactacional.
3. Fase de normalización (14 a 21 días postparto). Conforme la lactación progresa, el sistema endocrino reproductivo de la cerda retorna a la normalidad. El destete reduce la producción de opioides endógenos, y los niveles de LH y FSH se incrementan, estimulando el reinicio de la actividad ovárica postparto.

La presentación y la duración de cada una de estas fases depende de la intensidad del amamantamiento, el periodo de lactación, el número de parto, el estado nutricional y la época del año.

24.12. CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL ÚTERO DURANTE LA LACTANCIA

Después del parto y durante los primeros 15 días de lactancia, hay una rápida disminución en la longitud y peso del útero (70% en la semana postparto). Posteriormente, ambas variables permanecen relativamente sin cambios durante el resto de la lactancia. A este proceso se le denomina involución uterina. Los

loquios son líquidos presentes en el útero durante el puerperio, los cuales son eliminados al término de la primera semana postparto; y su expulsión, así como la disminución en las dimensiones uterinas, ocurren por contracciones del miometrio debidas a la secreción constante de oxitocina. Desde el punto de vista microscópico, el epitelio uterino muestra degeneración inmediata después del parto, pero al séptimo día se inicia una rápida regeneración, la cual se completa aproximadamente entre el día 14 y 21 postparto. La regeneración del endometrio culmina antes en especies con placenta difusa que en aquellas que tienen cotiledones. En el caso de la cerda (placenta difusa), la regeneración del endometrio se completa entre la tercera y la cuarta semana, pudiendo ser esto la causa de la disminución de la fertilidad en cerdas destetadas tempranamente. La involución uterina no se considera una limitante para que la cerda quede gestante nuevamente, siempre y cuando no se le dé servicio en las dos primeras semanas después del parto. Una vez que la involución uterina se completó, el porcentaje de fertilidad no se ve afectado por la duración de la lactancia; sin embargo el porcentaje de sobrevivencia embrionaria es más alto en cerdas con lactancias mayores de 21 días.

24.13. DESTETE

Fisiología del destete. Al separar a las crías de la cerda después de la lactancia, se estimula el desarrollo folicular, lo que resulta en la presentación del estro y la ovulación entre los primeros tres a siete días postdestete. A partir del momento del destete, aumenta la secreción de GnRH por el hipotálamo, lo que provoca elevación sostenida en las concentraciones plasmáticas de LH y FSH. Esto estimula el desarrollo folicular, por lo que se presenta un aumento en las concentraciones plasmáticas de estradiol, las cuales provocan a su vez un pico preovulatorio de LH, y preparan a la cerda a la presentación de los signos de celo y la subsecuente ovulación.

Las lactancias cortas afectan la morfología y velocidad de involución del útero durante el periodo postdestete. Así, cuando se comparan cerdas que son destetadas a los cuatro días postparto con cerdas que fueron destetadas a los 14 días postparto, se encuentra que el endometrio de las cerdas destetadas con más de 14 días se recupera más rápido que el de las destetadas con menos de 4 días.

Cuando el periodo de lactancia es largo, la presentación del estro es más rápida, así como se observa un incremento en los niveles circulantes, lo cual es consecuencia del desarrollo folicular.

También se ha estudiado el efecto del consumo de alimento durante la gestación y la lactancia sobre el intervalo a la presentación del estro postdestete, el cual es más corto en las cerdas que consumen más alimento. Esto

se debe a que a partir del día 14 de lactancia existe una correlación positiva entre el contenido de energía de la dieta y las concentraciones de LH. Por lo tanto, un consumo adecuado en la lactancia tiende a normalizar el sistema endocrino, siempre y cuando el destete ocurra después de la fase de transición en adelante. Por otra parte, la edad reproductiva de la cerda influye opuestamente sobre el intervalo destete a estro, ya que en las cerdas multíparas se presenta más pronto que en las primíparas. Esto se debe a que la secreción de gonadotropinas se incrementa más rápidamente en las multíparas, las cuales tienen mayores concentraciones de estradiol entre la segunda y la tercera semana postparto y responden a la GnRH con mayor secreción de FSH que las cerdas primíparas.

24.14. ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL MACHO

24.14.1. Generalidades

El objetivo primordial del manejo reproductivo del macho consiste en el mantenimiento de la libido y la producción adecuada de espermatozoides viables con la capacidad para fertilizar los ovocitos de las cerdas apareadas o inseminadas. Estas dos alternativas, la monta natural o la inseminación artificial, han modificado enormemente los patrones del manejo reproductivo del semental moderno.

24.14.2. Pubertad

La aparición de la pubertad en el macho ocurre entre los 5 y 6 meses de edad, con un rango de 4 a 8 meses, dependiendo de los factores que la afectan.

24.14.3. Factores que influyen en la capacidad reproductiva del macho

24.14.3.1. Edad

La producción de semen se establece poco a poco; desde los cuatro meses de edad se pueden obtener eyaculados con espermatozoides, aunque su capacidad para fecundar se retrasa por algún tiempo. Entre los 7 y los 20 meses de edad, la producción de semen y la concentración espermática aumentan en forma lineal, con un crecimiento exponencial entre los 8 y los 12 meses, llegando a un máximo entre los 24 y los 30 meses de edad, lo cual corresponde al crecimiento testicular (figura 24.3). Después de los 35 meses de edad, la producción de espermatozoides comienza a disminuir.

Un semental joven (menor de 12 meses) aún no tiene la capacidad reproductiva completamente desarrollada y, por tanto, debe ser utilizado con precaución. En esquemas con monta natural, el inventario de sementales jóvenes puede ser hasta el 50%, mientras que cuando se trabaja bajo programas en un Centro de Inseminación Artificial (CIA), hasta el 66% del inventario total puede corresponder a sementales con menos de 12 meses de edad. En la actualidad se prefiere trabajar con sementales de la misma edad, y de ser posible con el sistema todo-dentro, todo-fuera.

24.14.3.2. Frecuencia de trabajo

La frecuencia de trabajo para el semental dependerá de la edad, y de si será programado para la monta natural o para la recolección de semen. En cualquier caso es muy importante evitar el exceso en la utilización del semental, ya que esto ocasionaría primero, un agotamiento de las reservas espermáticas, y luego problemas severos: disminución del volumen y de la concentración total del eyaculado, así como un aumento de las aglutinaciones y de los

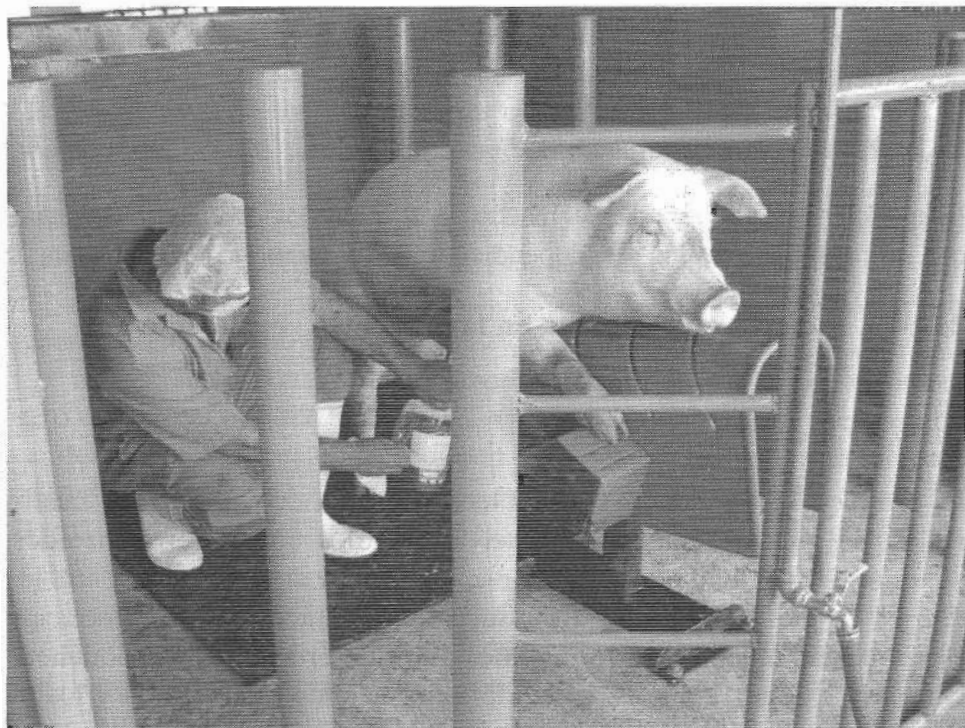


Figura 24.3. La recolección del eyaculado debe ser realizada de acuerdo con la edad y las condiciones del semental

porcentajes de anomalías espermáticas (gotas citoplasmáticas). Un semental adulto es capaz de producir hasta 20,000 millones de espermatozoides por día, mientras que un eyaculado de buena calidad es aquel que contiene entre 50,000 y 100,000 millones, lo que en teoría y bajo el esquema de trabajo en un centro de inseminación artificial, con dos recolecciones semanales no habría problemas para mantener el equilibrio entre producción espermática y frecuencia de recolección. En la práctica se recomienda hacer las recolecciones cada cuatro o cinco días, con un máximo de tres recolecciones cada dos semanas. Es importante indicar que cada semental puede tener respuestas diferentes, aun con un mismo intervalo entre recolecciones, por lo que siempre será mejor determinar un ritmo de trabajo para cada semental.

24.14.3.3. Factores hereditarios

Se ha encontrado que los machos de razas blancas (Large White y Landrace) producen eyaculados con mayor volumen y concentración espermática que los de razas oscuras (Duroc, Hampshire o Pietrain). Esto, además, está asociado a una alta selección genética y se ha observado un menor desempeño en machos con alta consanguinidad. La heterosis tiende a corregir este defecto. En la actualidad el uso de machos híbridos de alta calidad genética es muy aceptado.

24.14.3.4. Tamaño testicular

Se ha demostrado que verracos con testículos de mayor tamaño, entre los 150 y 180 días de edad, producen eyaculados con mayor volumen y de mejor calidad (mayor concentración espermática, mejor movilidad progresiva, menor cantidad de espermatozoide con anomalías). También se ha encontrado que es posible predecir el tamaño de ambos testículos basados solamente en la anchura de uno de ellos. Lo anterior facilita la selección de verracos basada en el volumen testicular, especialmente cuando se van a destinar a CIA.

24.14.3.5. Factores nutricionales

Recientemente se ha demostrado que las necesidades nutricionales de los machos para la reproducción son muy diferentes de los de cerdos en crecimiento y desarrollo, así como de las de la cerda reproductora. Los sementales activos con 100 kg de peso vivo, deben consumir diariamente 2.2 kg de alimento, con un 17.6% de proteína cruda (0.90% de lisina) y 3.15 mega calorías de energía metabolizable por kilo. En cuanto a los minerales,

deben considerarse como prioritarios, entre otros, los niveles adecuados de calcio (0.85%) y fósforo disponible (0.53%), así como los de algunos oligoelementos como el zinc, selenio y el cromo. Las vitaminas que requieren atención particular son: vitamina E, vitamina A, vitamina C, el ácido fólico y la biotina. Conforme el verraco va creciendo, estas demandas se incrementan, por lo que para un animal de 350 kg de peso se sugiere cambiar los niveles nutricionales. Últimamente se ha considerado necesario revisar los efectos ocasionados por los niveles de la fibra cruda en la dieta (2.2%) sobre la regulación hormonal y el comportamiento del macho. Altos niveles de algunas micotoxinas (zearalenona, aflatoxina B y ocratoxina) tienen efectos nocivos sobre la calidad de los eyaculados, por lo que también se requiere establecer una estrategia para contrarrestarlos. Lo más práctico es revisar los niveles de micotoxinas y proceder, en su caso, a la adición de agentes inhibidores o secuestrantes.

El sobrepeso del macho debido a la excesiva alimentación resulta en una baja eficiencia al momento del servicio natural o la monta al potro de recolección, debido a problemas locomotores y a la reducción de la libido. En granjas comerciales, donde aún se utiliza la monta natural, el sobrepeso es una de las principales causas de desecho. En cambio en los CIA, la mayoría de los verracos no permanecen mucho tiempo y los problemas de sobrepeso no deberían ser tan frecuentes, siempre y cuando se tenga control sobre el consumo de alimento, y que éste, a su vez, tenga un adecuado balance de energía y proteína.

24.14.3.6. Temperatura ambiental

Los efectos de altas y bajas temperaturas ambientales están asociados con trastornos transitorios o permanentes de la fertilidad. Las altas temperaturas medioambientales durante periodos prolongados tienden a reducir la capacidad fertilizante de los eyaculados (aumento de las anormalidades, descenso de la motilidad espermática y del volumen del eyaculado), a partir de la quinta semana después de que los sementales fueron expuestos a esos efectos, aun cuando las temperaturas no hayan rebasado los 29 °C. Se requerirán de 5 a 8 semanas para que un verraco vuelva a producir eyaculados normales, después de experimentar estrés térmico. Las bajas temperaturas medioambientales también tienen efectos asociados con disfunciones testiculares y pobre fertilidad. Por ello se sugiere mantener a los verracos a una temperatura promedio de 20 °C. Un procedimiento práctico para observar posible estrés térmico es determinar la tasa de respiración de un verraco, especialmente en las horas más calurosas del día. Normalmente un verraco debe tener de 15 a 20 respiraciones por minuto, pero si se eleva a 40 respiraciones por minuto, estará bajo estrés calórico.

24.14.3.7. Alojamiento y ambiente social

El diseño de las instalaciones para alojar a los sementales tiene un impacto muy significativo sobre el mismo desempeño reproductivo del macho, así como sobre la propia seguridad de los encargados, y la eficiencia de los manejos diarios o rutinarios: movimiento de los sementales, procedimientos para la recolección, rutinas de alimentación, vacunaciones y muestreos sanguíneos. La calidad y el movimiento del aire, así como el control de la temperatura medioambiental, son factores que determinarán en gran parte el bienestar (confort) de los animales y del personal. El prevenir altas temperaturas medioambientales ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) en el área de los sementales resultará en una producción constante de semen de alta calidad. En la actualidad, los sementales son alojados en los CIA, ya sea en corral o en jaula individual, dependiendo de limitaciones de espacio, consideraciones sobre el costo del edificio, número de animales por caseta, y de las preferencias personales. La mayoría de los CIA trabajan con una combinación de corral o jaula individual, habiendo variaciones en la relación corral-jaula desde un 60:40 hasta 80:20. Preferentemente, sería más recomendable el uso del corral que la jaula. El piso del lugar de alojamiento también debe ser considerado. Los corrales o jaulas con piso total de rejilla de cemento (slat) son una excelente opción, aunque la combinación de piso sólido y la rejilla de cemento se ha usado también con muy buenos resultados.

Algunas de las principales causas de desecho de sementales en los CIA, son: mala calidad de semen (28%), vejez (28%), problemas locomotores o de conformación anatómica (10%), baja o nula libido (10%), temperamento agresivo (3%), úlceras (3%) y misceláneas (18%). El sobreuso del macho es probablemente el factor más relacionado con problemas en la calidad de semen, y es muy frecuente en sementales jóvenes.

24.14.4. Selección y examen del macho

El semental debe ser seleccionado con base en tres criterios: genéticos, reproductivos y sanitarios.

24.14.4.1. Evaluación genética

La selección del semental se basa en los resultados de las pruebas de comportamiento a que fueron sometidos los animales en las empresas de pie de cría (granjas núcleo o granjas multiplicadoras). Las características económicas que principalmente se incluyen en las pruebas de comportamiento son: ganancia diaria de peso, conversión de alimento, días para alcanzar los 105 kg de peso y pruebas de la calidad de la canal (grosor de la grasa dorsal,

longitud de la canal, área del ojo de la chuleta), y porcentaje de tejido magro, entre otros indicadores. Con esta valoración se puede desarrollar un índice, que sintetiza el potencial genético del verraco. Mientras más alto sea el índice, mayor será el valor genético del semental. En la actualidad, los modernos sistemas computarizados para la evaluación genética de los cerdos han permitido disponer de una rápida y confiable herramienta.

24.14.4.2. *Evaluación reproductiva*

Un verraco de alto valor genético sólo será capaz de transmitir sus características si tiene la habilidad de reproducirse y multiplicarse. La evaluación reproductiva del semental comprende los siguientes aspectos: examen físico general, evaluación del aparato locomotor y del aparato genital, prueba de la libido, así como de las características del semen. Los testículos y epidídimo se palpan determinando simetría, consistencia y tamaño. El examen del pene y prepucio, así como de la libido, podrán ser realizados cuando el macho intenta montar una cerda en calor o al maniquí de recolección. Muchos verracos son eliminados debido a problemas que les impiden completar la monta, como son los problemas locomotores, libido disminuida y anomalías en los testículos y el pene (figura 24.4).

La recolección del semen podrá ser realizada por cualquiera de los métodos disponibles: la técnica manual, la vagina artificial o la electroeyacuación. En el caso de animales entrenados a eyacular sobre el potro o maniquí, la técnica manual es la más recomendable. La electroeyacuación, a pesar de ser un método que no evalúa la libido, es una técnica útil en los casos en que el macho está incapacitado para efectuar la monta. Algunas de las características para evaluar en el semen incluyen el volumen, motilidad, concentración y morfología del eyaculado. En el cuadro 24.1 se muestran los valores promedio del semen del verraco.



Figura 24.4. Ejemplo de orquitis bilateral

Cuadro 24.1. Valores promedio del semen del verraco

Volumen	100 a 500 ml
Número total de espermatozoides	20 a 60 mil millones
Concentración espermática por ml	200 a 350 millones
Motilidad progresiva	>70%
Anormalidades primarias	<10%
Anormalidades secundarias	<15%
Apariencia	Blanco lechoso, libre de pus, sangre o material extraño

24.14.4.3. Evaluación clínico-sanitaria

Al adquirir un semental se deberán analizar las condiciones sanitarias del país y región de origen; también se incluye la evaluación de la historia de la salud de la piara de origen, la cual debe estar libre de enfermedades infecciosas. La empresa proveedora de pie de cría deberá emitir un certificado de salud para cada animal, en el cual se garantice que están libres de enfermedades transmisibles, principalmente las indicadas en la normatividad oficial. Los verracos de nuevo ingreso deberán pasar por un periodo de cuarentena de por lo menos diez a catorce semanas. Durante este periodo se podrá confirmar su estado sanitario e iniciar el programa de medicina preventiva que se lleva en la granja.

24.14.5. Entrenamiento del semental

El entrenamiento del macho para montar un potro o maniquí es un procedimiento simple que requiere paciencia y el conocimiento de la conducta sexual del verraco. La edad para iniciar el entrenamiento de un macho joven es a los 6 ó 7 meses. La técnica consiste en llevarlo al lugar donde se encuentra el maniquí o potro; la aplicación de orina o exudado vaginal de cerdas en calor: orina, líquido prepucial, saliva o alguna otra secreción del macho que esté rica en feromonas sobre el potro, es de utilidad para estimularlo. El cerdo es un animal inteligente que cuando se le permite observar la monta del potro por otros sementales, aprende rápidamente. En ocasiones será mejor llevar al verraco a un área o corral estrecho donde se encuentre el maniquí y que el macho no tenga mucho espacio para caminar o distraerse. Este procedimiento es muy bueno para entrenar a aquellos sementales que se han tardado en aprender. Una vez que el macho aprendió a montar el potro, se espera a que exteriorice el pene para que pueda ser sujetado con la palma de la mano, se permita la completa erección del pene y se inicie la recolección del semen. En promedio puede llevar una semana para entrenar al cerdo a eyacular en el potro. Animales con previa experiencia de monta natural pueden ser más lentos durante el entrenamiento.

En ocasiones los verracos experimentan disminución de la libido y se dificulta su entrenamiento. En los CIA la libido se mide determinando el “tiempo de reacción”, es decir, el tiempo que transcurre desde que entra el verraco al corral de recolección hasta que monta el maniquí y alcanza la erección del pene, usando el método de la mano enguantada. Con el propósito de acortar el tiempo de reacción en verracos con baja libido, se emplean de 5 a 10 mg de $\text{PGF}_2\alpha$, por vía intramuscular.

24.14.6. Lineamientos para llevar a cabo un programa reproductivo

- a) Seleccionar machos y hembras jóvenes con base en características de progenie, pruebas de comportamiento, conducta sexual y examen de la salud general.
- b) Evaluar los programas nutricionales. Dar exceso de alimento a cerdas jóvenes durante las dos semanas previas al servicio y a cerdas adultas desde el destete hasta el servicio. Restringir el alimento durante las dos semanas siguientes a la monta y continuar con un programa de alimentación de acuerdo con la condición de cada cerda.
- c) Evitar estados de estrés durante el servicio y el primer mes de gestación.
- d) Llevar un programa integral de salud que incluya los adecuados calendarios de vacunación para prevenir problemas reproductivos como abortos y repetición de calores.
- e) En el caso de utilizar la monta natural, se debe realizar el examen reproductivo con seis semanas de anticipación, al inicio del uso de los machos. Este examen consiste en la evaluación de la libido, del semen, del sistema locomotor y del aparato genital.
- f) Evitar la exposición del pie de cría a altas temperaturas ambientales, ya que ocasiona diversos grados de infertilidad.
- g) Detectar calores por lo menos dos veces al día y con la ayuda del macho recelador. En cerdas destetadas, desde el segundo día postdestete. Si lo hacen con cerdas destetadas en corral, se recomienda que el macho entre al corral y siendo muy cuidadosos para detectar cualquier cambio en el comportamiento de cada cerda. En algunas granjas, para mejorar los porcentajes de cerdas detectadas en celo, utilizan cuadrillas de sementales, dos a cuatro, los cuales cohabitan el mismo corral desde muy chicos. De otra

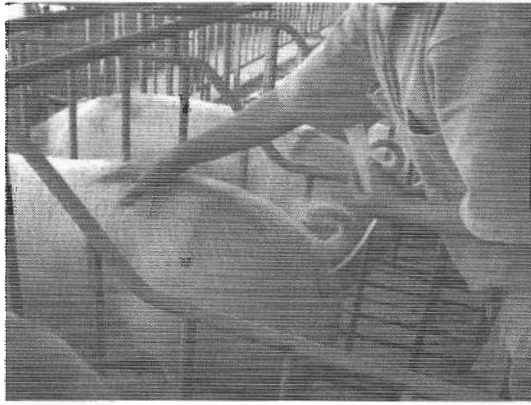


Figura 24.5. El momento de la IA es determinado de acuerdo con diversos factores

manera pueden ocurrir problemas cuando se juntan sementales que nunca han vivido en el mismo corral.

- h) Dar dos o tres montas (MN) o inseminaciones (IA) (figura 24.5). Si la cerda entró en celo entre el primer día y el cuarto posdestete, la primera MN o IA se dará inmediatamente después de haber detectado a la cerda en calor. La segunda se dará entre las 12 y las 24 horas después de la primera IA. La tercera se daría entre las 12 y 24 horas después de la segunda IA. Para las cerdas que presenten celo entre el quinto y sexto día posdestete, se recomienda lo siguiente: la primera MN o IA se daría de las 12 a las 24 horas después de la detección del celo, mientras que la segunda MN o IA se daría 12 horas después de la primera. Para aquellas cerdas con celos tardíos, o que lo presentan después del séptimo día posdestete, se sugiere lo siguiente: la primera MN o IA inmediatamente después de que la cerda fue detectada en calor, mientras que la segunda MN o IA, se daría 12 horas después de la primera. En caso de dar una tercera MN o IA, se recomienda llevarla a cabo 12 horas después de la segunda. Es importante considerar que para lograr un excelente desempeño global del pie de cría, el primer paso a dar es mantener la meta o presupuesto para el número de cerdas inseminadas o montadas por semana o ciclo.
- i) Utilizar algún sistema o programa computarizado para el control de registros y análisis de la información. Estos análisis deberán hacerse de acuerdo con las variables o indicadores a evaluar. Por lo tanto, toda la información se deberá mantener al día. Se recomienda también utilizar registros individuales para una mejor identificación y control de los problemas reproductivos.

24.15. LITERATURA RECOMENDADA

- Alexopoulos, C., Boscós, C., Saratsis, Ph. 1996. *The effect of storage time and number of spermatozoa per insemination dose on semen characteristics and fertilizin capacity of boar semen diluted with Beltsville Thaw Solution (BTS) extender*. Anim Sci 62: 599.
- Cia, M.C., Edwards, S.A., Glasgow, V.L., Shanks, M., Frazer, H. 1998. *Modification of body composition by altering the dietary lysine to energy ratio during rearing and the effects on reproductive performance of gilts*. Anim Sci 66:4 57.
- Evans, A.C.O., O'Doherty, J.U. 2001. *Endocrine changes and management factors affecting puberty in gilts*. Livest Prod Sci 68, 1.
- FMVZ-SUA. 1999. *Mejoramiento animal: reproducción: cerdos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hunter, R.H.F. 1997. *Physiological factors influencing ovulation, fertilization, early development and establishing of pregnancy in pig*. Br Vet J 133: 461.
- Jindal, R., Congrove, J.R., A. Hene, F.X., Foxcroft, G.R. 1996. *Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: Association with progesterone*. J. Anim. Sci. 74: 620.
- Johnson, K.R., Merlyn, K.N., Casey, D. 1999. *Responses in ovulation rate, embryonal survival and litter traits in swine to 14 generations of selection to increase litter size*. J Anim Sci 77: 541.
- Magistrini, M., Guitton, E., Levern, Y., Nicolle, J.C., Vidament, M., Kerboeuf, D., Palmer, E. 1997. *New staining methods for sperm evaluation estimated by microscopy and flow citometry*. Theriogenology 48: 1229.
- Martin, R.S., Martínez, E., García, A.C. de Alba, C.1996. *Boar semen evaluation in practice*. Reprod Domest Anim 31: 519.
- Mc Kinnie, M.R., Britt, J.H., Esben shade, K.L. 2000. *Ovarian function and hormone secretion of gilts actively in munized against andostenediona*. J Anim Sci 66: 3131.
- Murirhead, M.R., Alexander, T.J. 1997. "Reproduction; Non infections infertility." En: *Managing pig health and the treatment of disease*. SM Enterprises Limited United Kingdom.
- Pinart, E., Camps, R., Briz, M.D., Bonet, S., Egozcue, J. 1998. *Unilateral spontaneous abdominal cryptorchidism; structural study of sperm morphology*. Anim Reprod Sci 49: 247.
- Rothschild, M.F., Ruvinsky, A. 1998. *The genetic of the Pig*. CAB International VK.

25. OVINOS *

RAQUEL PÉREZ-CLARIGET
ANTONIO PORRAS ALMERAYA

- 25.1. INTRODUCCIÓN
- 25.2. FISIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE LA OVEJA
- 25.3. CARACTERÍSTICAS DEL CICLO ESTRAL
- 25.4. COMPORTAMIENTO SEXUAL
- 25.5. GESTACIÓN
- 25.6. EFECTO DE LA ALIMENTACIÓN EN LA REPRODUCCIÓN
- 25.7. MÉTODOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTACIÓN
- 25.8. MÉTODOS PARA EL CONTROL ARTIFICIAL DE LA REPRODUCCIÓN
- 25.9. FISIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL CARNERO
- 25.10. MÉTODOS PARA EL CONTROL ARTIFICIAL DE LA REPRODUCCIÓN
EN EL MACHO
- 25.11. LITERATURA RECOMENDADA

25.1. INTRODUCCIÓN

Los ovinos son una fuente importante de proteína de origen animal y poseen numerosas ventajas que los sitúan en un lugar preponderante en la producción pecuaria. El estudio de su fisiología reproductiva es necesario para alcanzar la máxima eficiencia en la producción, ya que presentan grandes variaciones en su comportamiento reproductivo dependiendo de la raza, la latitud geográfica, el clima y el manejo bajo los cuales se realice su cría. Esto permitirá poner en práctica programas de manejo reproductivo compatibles con las características fisiológicas de esta especie.

25.2. FISIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE LA OVEJA

25.2.1. Estacionalidad reproductiva

El carácter estacional de la actividad reproductiva de la oveja en latitudes templadas se conoce desde hace mucho tiempo. En general, la actividad

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Reproducción de ovinos", elaborado por Javier Valencia y Gerardo Bustamante.

sexual cíclica de la oveja aparece a finales del verano o al inicio del otoño y finaliza durante el invierno o al inicio de la primavera. Esta regla no se aplica para todas las razas ya que hay variaciones entre ellas (cuadro 25.1), por lo que se han agrupado de la siguiente manera:

- a) Razas con época de apareamiento corta y anestro largo y profundo. Se consideran estacionales y son originarias de zonas localizadas encima de los 45° latitud norte (razas inglesas, escocesas y australianas).
- b) Razas con época de apareamiento larga y anestro corto y poco profundo. Algunos autores denominan a este segundo grupo como hembras no estacionales y provienen de latitudes menores a 45° latitud norte (razas mediterráneas y españolas). También se considera que las razas más prolíficas tienen estaciones reproductivas más largas que los genotipos menos prolíficos, bajo las mismas condiciones ambientales.

En México (19° latitud norte) existen estudios que muestran que la actividad reproductiva anual de diversas razas (Corriedale, Suffolk, Romney Marsh y

Cuadro 25.1. Duración del anestro estacional en diferentes razas ovinas

REFERENCIA	LUGAR	LATITUD	RAZA	PERIODO DE ANESTRO (MES)	DURACIÓN DEL ANESTRO (DÍAS)
				E F M A M J J A S O N D	
D'ymundsson (1978)	Islandia (Hvanneyri)	64°34' N	Ovejas nativas	██████████	219
Wheeler y Land (1977)	Escocia (Roslin)	~56° N	Finnish - Landrace - Tasmania - Merino - Scottish - Blackface	██████████ ██████████ ██████████	166 181 235
Land et al. (1973)	Francia (Nouzilly)	47°30' N	Romanov Solognote	██████████ ██████████	164 210
Thimonier y Mauleón	Francia (Jouy en Josas)	48°30' N	Ile-de-France Préalpes	██████████ ██████████	179 114
Rawlings et al. (1977)	EUA (South Caroline)	~33° N	Western Whiteface	██████████	~91.5
Webster y Haresing (1983)	Inglaterra (Nottingham)	~53° N	Dorset - Horn Welsh - Mountain	██████████ ██████████	100 183
Amir y Gacitua (1985)	Israel (Bet-Dagan)	~32° N	Finn - cross	██████████	152
Saiz et al. (1980)	España (Madrid)	~40° N	Manchega Manchega	██████████ ██████████	114 97
González et al. (1980)	España (Badajoz)	~39° N	Merino	██████████	~91.5
Ammar-Khodja y Brudieux (1982)	Argelia - Alger	36°30' N	Tamid	██████████	52

Dorset) decrece durante la primavera, en tanto que la oveja criolla y la Pelibuey pueden presentar ciclos estrales prácticamente durante todo el año.

Las ovejas se valen del fotoperiodo (la cantidad de horas luz diaria a lo largo del año) para sincronizar el momento del año en que deben iniciar su estación reproductiva. De esta manera la actividad sexual se inicia cuando la cantidad de horas luz diaria disminuye, lo cual ocurre a partir del solsticio de verano. Esto permite que los nacimientos ocurran en la primavera, cuando las condiciones ambientales y nutricionales son favorables, facilitando con ello la supervivencia de las crías. Debido a que las variaciones fotoperiódicas son menos marcadas en regiones cercanas a la línea del ecuador, se considera que la época reproductiva en estas regiones se determina por otro tipo de variables como la temperatura, la precipitación pluvial y la disponibilidad de alimentos. La latitud en la que se explotan las ovejas parece no ser la única responsable de la estacionalidad reproductiva, en efecto, estudios realizados en México (latitud 19° norte) han demostrado que el fotoperiodo es capaz de afectar directamente la actividad ovárica de la oveja Pelibuey.

25.2.2. Mecanismo neuroendocrino que regula la estacionalidad reproductiva

La estacionalidad reproductiva de la oveja está controlada por cambios en la sensibilidad hipotalámica a la retroalimentación negativa ejercida por el estradiol. Esto significa que durante la estación reproductiva la capacidad del estradiol para inhibir la secreción de la hormona luteinizante (LH) es reducida, pero a medida que se acerca el periodo de anestro se incrementa dicha capacidad, hasta que durante el anestro la inhibe casi totalmente. Por último, en la transición a la época reproductiva vuelve a disminuir el poder inhibitorio del estradiol, permitiendo la restauración de la actividad ovárica en el animal.

El estímulo luminoso es convertido en una señal nerviosa. La glándula pineal convierte a su vez la señal nerviosa en una señal endocrina produciendo melatonina en forma directamente proporcional a la longitud de la noche. La duración de la secreción nocturna de melatonina es interpretada por la oveja como una señal inductora o supresora, según el caso. Como señal inductora estimula la secreción pulsátil de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), disminuyendo el poder inhibitorio del estradiol. En contraste, como señal supresora, la melatonina inhibe al centro generador de pulsos de la GnRH, aumentando la acción inhibitoria del estradiol. Aunque se desconoce cuál es el mecanismo de acción de la melatonina, se sabe que la melatonina no actúa directamente sobre las neuronas productoras de GnRH. Su acción es indirecta e involucra un complejo circuito neural en el hipotálamo, que incluye neuronas productoras de catecolaminas (dopamina), indolaminas

(serotonina) o aminoácidos excitatorios que regulan la secreción pulsátil de la GnRH, y por lo tanto la actividad reproductiva de la hembra.

25.2.3. Pubertad

La pubertad es un proceso gradual que se inicia desde la etapa prenatal del animal e implica la maduración del eje hipotalámico, hipofisiario y gonadal. En la hembra está asociada a la aparición del primer estro y la ovulación, aunque en la oveja la primera ovulación generalmente no se acompaña de un estro conductual (ovulación silenciosa).

El inicio temprano de la pubertad es importante porque acorta el intervalo generacional, incrementa el número de crías en la vida reproductiva de la hembra y reduce los costos de mantenimiento. La pubertad ocurre cuando las corderas tienen la edad y el peso suficiente para iniciar su reproducción. En esta especie es marcadamente variable la edad a la que inicia la pubertad, en general se considera que la misma puede ocurrir entre los 5 y 18 meses.

25.2.3.1. Factores que determinan el inicio de la pubertad

El desencadenamiento de la pubertad obedece a un conjunto de factores externos (ambientales, sociales) e internos (edad, peso vivo).

- a. *Genéticos*. La raza es un factor determinante que influye en la edad y el peso a la manifestación del primer estro. En general se considera que las razas que maduran en forma rápida alcanzan la pubertad más pronto. En el caso de las ovejas cruzadas (híbridas), tienden a desarrollar un mejor comportamiento reproductivo, ya que un mejor crecimiento corporal favorece el inicio temprano de la pubertad en comparación con las razas puras.
- b. *Nivel alimenticio*. Para que el inicio de la pubertad ocurra a una edad temprana es necesario que la hembra alcance un peso adecuado (entre 40 y 60% de su peso adulto), especialmente en lugares ubicados en latitudes altas, donde la actividad reproductiva es marcadamente estacional. La nutrición restringida durante la etapa de desarrollo de las crías provoca que las mismas no logren alcanzar el peso corporal necesario para desencadenar la pubertad antes de que finalice su primera estación reproductiva.
- c. *Época de nacimiento*. Después de lograr el adecuado crecimiento corporal, una hembra joven podrá comenzar su actividad reproductiva siempre y cuando la época del año sea óptima. En

razas estacionales, la época de nacimiento determina la precocidad o no de la pubertad, de tal forma que los animales que nacen durante el invierno y la primavera tienen mayores posibilidades de comenzar su actividad ovárica en la siguiente época reproductiva, que los nacidos durante el verano. Las ovejas que nacen al principio de la primavera pueden presentar ciclos estrales y concebir entre 5 y 7 meses de edad, (otoño del mismo año), mientras que las nacidas al final de la primavera ciclan hasta la edad de 18 meses (otoño del siguiente año).

- d. *Sociales*. El llamado “efecto macho” es un estímulo que puede desencadenar el inicio de la estación reproductiva en ovejas. Hembras en anestro prepuberal aisladas de la presencia del macho pueden ser estimuladas por el mismo al ser reincorporado éste en el rebaño, desencadenando un incremento en los pulsos de LH capaces de causar la liberación preovulatoria de la LH y la ovulación. Este inicio de la actividad ovárica (primera ovulación) normalmente no se acompaña de estro.

25.2.3.2. Mecanismo neuroendocrino que regula el inicio de la pubertad

El comienzo de la pubertad requiere de la coordinación de una serie de complejos mecanismos en los que intervienen los centros de secreción hormonal. El incremento en la secreción de gonadotropinas, particularmente la LH, conduce a la transición desde la inmadurez sexual a una aptitud reproductiva en ambos sexos. Antes de la pubertad, el hipotálamo que controla la secreción de LH vía GnRH, es altamente sensible a los efectos inhibitorios de los esteroides de las gónadas en desarrollo. Por lo tanto, la frecuencia de pulsos de GnRH se mantiene baja. A la pubertad, en respuesta a estímulos del ambiente interno (crecimiento) y externo (fotoperiodo), el hipotálamo empieza a perder su sensibilidad a los efectos inhibitorios de los esteroides gonadales. Por lo tanto, la frecuencia de la secreción pulsátil de la GnRH y la LH se incrementa, permitiendo estimular el desarrollo folicular y la producción sostenida de estrógenos, necesarios para estimular una liberación preovulatoria de la LH que desencadene la ovulación.

25.3. CARACTERÍSTICAS DEL CICLO ESTRAL

25.3.1. Duración del ciclo estral

Las razas más comunes de ovejas presentan una duración del ciclo estral de 17 días (14 a 19 días). Pero existen variaciones en la duración del ciclo estral en esta especie debido a:

- a. *Edad*. En general las corderas tienen ciclos más cortos que las ovejas adultas.
- b. *Raza*. Existen razas con ciclos estrales más largos, aunque estas diferencias son relativamente pequeñas (≤ 1 día).
- c. *Estado reproductivo*. Las ovejas pueden presentar ciclos estrales de corta duración (5 a 8 días) asociados principalmente con el primer ciclo estral durante la pubertad o después del parto.

25.3.1.1. Duración del estro

La duración promedio del estro en la oveja es de 30 horas, aunque varía considerablemente (24 a 48 horas) por efecto de:

- a. *Raza*. La duración del estro es aproximadamente 50% más largo en razas con tasas ovulatorias elevadas (3-4 óvulos) que aquellas que únicamente liberan de 1 a 2 óvulos.
- b. *Método utilizado para monitorear el celo*. Cuando las ovejas y carneros permanecen continuamente juntos, la duración del estro se acorta a la mitad en comparación a cuando ambos sexos están en contacto intermitente o aislado.
- c. *El celo puede acortarse* si la hembra es cubierta al inicio de la receptividad sexual.

25.3.1.2. Ovulación

A pesar de la variabilidad en la duración del estro, el inicio del mismo guarda una relación estrecha con el inicio de la liberación preovulatoria de LH, de tal manera que la ovulación ocurre en un rango de 24 a 30 horas después de iniciado el celo. Esto tiene sus implicaciones prácticas, sobre todo cuando las ovejas están sometidas a un programa de inseminación artificial. En la oveja es común la ovulación sin estro (ovulación silenciosa); se presenta sobre todo en corderas y en algunas hembras adultas después del parto y en la primera ovulación puberal y estacional.

25.3.1.3. Tasa ovulatoria

La oveja se distingue de otros herbívoros domésticos (vaca y yegua), por ser capaz de presentar ovulaciones múltiples. En general la tasa de ovulación en ovejas está bajo la influencia de los siguientes factores:

- a. *Genético*. Se conocen genotipos (Merino Booroola, Finnish Landrace, Romanov) con altas tasas de ovulación (>2 óvulos por ciclo).

En tres familias de ovinos, la Inverdale, Hanna y la Booroola, ocurre en forma natural una mutación puntual heredable localizada en una región específica del cromosoma X (Inverdale y Hanna), o en el cromosoma 6 (Booroola), genes responsables de la proteína morfogénica ósea BMP, que forma parte de la superfamilia del factor de crecimiento y transformación beta (TGFbeta) o de sus receptores. En la oveja Inverdale (I) y en la Hanna (H) se han identificado mutaciones en puntos separados en los genes de la proteína morfogénica ósea (BMP) que corresponden a los sitios de la región que codifica para el factor de crecimiento y transformación 15 (BMP15), también conocido como factor de crecimiento y diferenciación 9B (GDF9B). En el ovario, este gen se expresa en los ovocitos primordiales, preantrales, en las células de la granulosa de la etapa primaria de desarrollo y en el cuerpo lúteo.

El descubrimiento de que una mutación puntual en el receptor BMP15 de la oveja Booroola sea responsable del aumento en la tasa de ovulación, resalta la importancia de la señalización de las moléculas TGFbeta en la foliculogénesis. Además demuestra que el ovocito juega un papel activo en relación con sus células somáticas adyacentes durante la foliculogénesis e influencia el número de folículos que llegarán a ovular.

El efecto en la oveja Booroola es aditivo para tasa de ovulación, ya que los animales con una copia de la mutación tienen una tasa de ovulación de 3 a 4, mientras que en los que poseen dos copias es de 5 a 14.

BMP15 (GDF9) se secreta desde la primera fase de la foliculogénesis hasta la ovulación y es esencial para la fertilidad de la hembra, pues promueve:

- el proceso de crecimiento y diferenciación más allá del folículo primario (rodeado de una sola capa de células foliculares),
- la mitosis de las células de la granulosa, independientemente de FSH,
- la expansión del *cumulus* previa a la ovulación,
- la secreción de inhibina.

Además, inhibe la expresión (mRNA) del receptor de FSH en las células de la granulosa, por lo que modula la esteroidogénesis.

- b. *Edad*. La tasa de ovulación es menor en las hembras jóvenes que en las adultas.
- c. *Estación del año*. La tasa de ovulación aumenta hacia la mitad de la estación reproductiva.
- d. *Complejo peso-nutrición*. La nutrición afecta probablemente hasta cierto punto la mayoría de las etapas de la foliculogénesis. Sin

embargo, se le ha dado mayor importancia al efecto de la nutrición en las etapas finales del desarrollo folicular. Se conoce que los patrones de secreción de las hormonas metabólicas se afectan por la dieta, y se ha propuesto que la respuesta ovulatoria a la nutrición puede operar independientemente de los cambios en la secreción de gonadotropinas a través, por ejemplo, de un efecto directo de la insulina o de factores de crecimiento en el ovario.

El incremento de la tasa de ovulación es una de las formas más eficientes para aumentar la prolificidad de esta especie, mediante la aplicación de diversos métodos como son el empleo de razas prolíficas, la aplicación de hormonas que estimulen el crecimiento folicular (gonadotropina coriónica equina, la hormona folículo estimulante), elevando el plano nutricional al final de la lactación o al inicio de la época reproductiva ("flushing") y mediante la inmunización contra esteroides o inhibina.

La prolificidad se ha medido en forma práctica mediante el porcentaje de parición, es decir, por el total de crías nacidas en relación con el número de hembras paridas. En razas como la Rambouillet, la Corriedale, la Dorset, la Suffolk o la Pelibuey, la parición puede ser de 100, 118, 127, 144 y 144%, respectivamente, mientras que en otras más prolíficas como la Romanov y la Finnish-Landrace alcanza a ser de 238 y 300%; desde luego estas cifras varían dependiendo de la línea genética y del manejo.

25.3.1.4. Endocrinología del ciclo estral de la oveja

- a. Hormona luteinizante; el inicio del estro guarda una relación temporal estrecha con el inicio de la secreción preovulatoria de la LH (liberación masiva de la LH por la adenohipófisis), excepto en las razas con altas tasas de ovulación, en las cuales la misma puede iniciar 8 a 12 horas después de comenzado el celo. Las concentraciones de la LH se incrementan rápidamente en un periodo de 4 a 8 horas hasta alcanzar niveles de 100 a 200 ng/ml (50 a 100 veces superiores a los niveles basales), para posteriormente declinar abruptamente. La secreción preovulatoria de la LH dura aproximadamente 12 horas. El intervalo entre el pico de la LH y la ovulación es extremadamente constante.

Los niveles tónicos de la LH durante el ciclo estral están inversamente correlacionados con las concentraciones de progesterona circulante. Durante la fase lútea del ciclo, el número de pulsos de liberación de LH es bajo (uno cada 3 a 4 horas), debido principalmente a la acción inhibitoria de la progesterona que se encuentra en una concentración elevada. Posteriormente,

con la regresión del cuerpo lúteo cesa el bloqueo de la progesterona y se incrementa la frecuencia en la liberación de la LH, ocasionando un marcado desarrollo folicular acompañado con la producción de estrógenos, que desencadenarán el celo y la liberación preovulatoria de la LH, que a su vez causará la ovulación.

- b. Hormona folículo estimulante (FSH). La FSH ovina es mucho más difícil de medir que la LH bovina, pero se conoce que existe un incremento de FSH que coincide con la secreción preovulatoria de la LH, y que la misma es usualmente seguida por un segundo pico de FSH 24 horas más tarde.
- c. Estrógenos (E2). Las concentraciones de estradiol en la circulación periférica son muy bajas, en el rango de 1 a 10 pg/ml. En la oveja se observan picos de secreción a lo largo del ciclo estral, que corresponden a diferentes períodos de crecimiento folicular. El último pico de estrógenos del ciclo representa probablemente el crecimiento preovulatorio del folículo y es el responsable de la secreción preovulatoria de la LH.
- d. Progesterona (P4). Las concentraciones de progesterona son virtualmente indetectables durante los tres primeros días del ciclo estral, después se incrementan gradualmente a partir del día 3 al 8, hasta alcanzar una concentración máxima. Los niveles de progesterona permanecen relativamente constantes entre el día 8 a 14, y posteriormente caen a concentraciones no detectables en los siguientes días.
- e. Prostaglandinas (PGF2 α). Del día 2 al 10 del ciclo estral hay poca o nula liberación de PGF2 α por el endometrio uterino. Los pulsos de prostaglandina se incrementan entre el día 11 y 13 del ciclo, persistiendo los siguientes 2 a 3 días, lo que origina la regresión del cuerpo lúteo (figura 25.1).

25.4. COMPORTAMIENTO SEXUAL

Los signos de celo de la oveja no son tan evidentes como en otras especies. En la hembra en celo se observa un incremento de su actividad motora, busca activamente al macho (sobre todo si está en pastoreo), permanece inmóvil ante su presencia, además de permitir ser montada. En las ovejas primíparas (primerizas) en calor, la búsqueda del carnero puede ser mínima o nula, pero se muestran receptivas ante los intentos de acercamiento del macho.

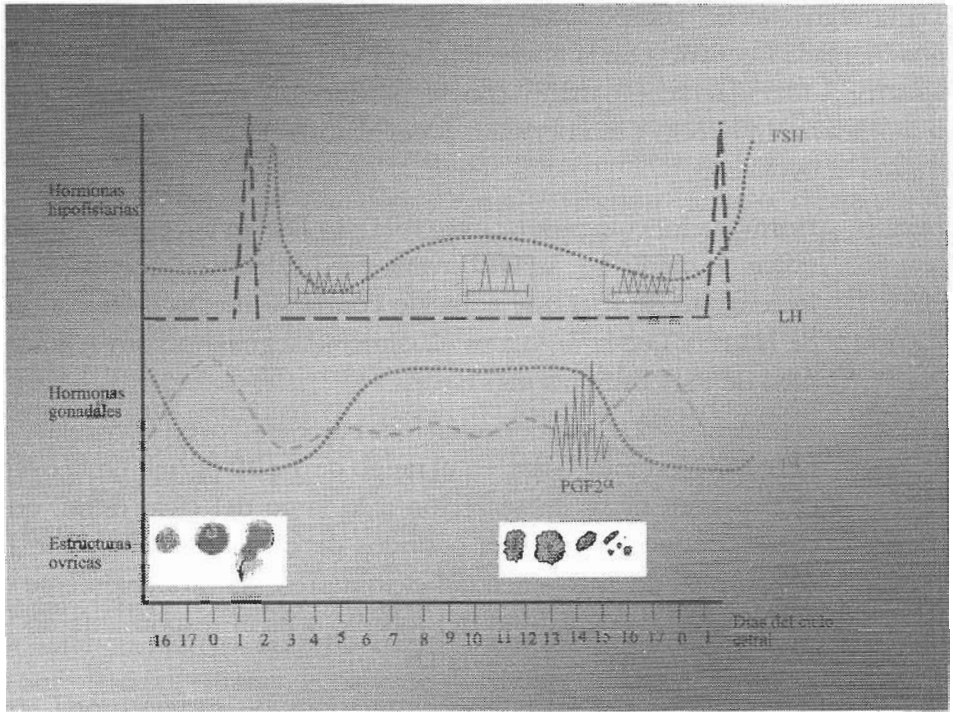


Figura 25.1. Eventos hormonales durante el ciclo estral de la oveja

Si bien la oveja en celo atrae a otras ovejas, la conducta homosexual sólo ocurre ocasionalmente; por lo tanto, en un programa de detección de estros se requerirá la presencia del macho. Los signos externos de estro, como el edema e hiperemia de los labios vulvares, son de poca utilidad para la detección del estro.

25.4.1. Detección del estro

Como los signos de estro no son muy claros en la oveja, se necesita de la ayuda del macho para la detección del celo, práctica importante, sobre todo en sistemas donde se utiliza la monta dirigida o la inseminación artificial. Los machos celadores deben prepararse adecuadamente para evitar que fecunden a las hembras. Para estos fines se usan machos no castrados:

- A los que se les coloca un mandil que evite la cópula.
- Vasectomizados o epididectomizados.
- A los que se les ha efectuado la desviación quirúrgica del pene.

Es posible colocar un arnés marcador al macho celador para identificar a la hembra en celo. Las hembras detectadas en calor son separadas del rebaño para realizar su inseminación o la monta dirigida. Se acostumbra cubrir a la

hembra en el momento en que es detectada en celo y cada 12 horas hasta el término del celo.

Tradicionalmente, la conducta de celo en la oveja es definida como el momento en que la hembra permanece quieta cuando es montada por el macho, pero esto es justo el acto final de una secuencia de interacciones conductuales entre la hembra y el macho. Las ovejas en celo se muestran inquietas y buscan al macho con gran empeño. Si hay varias hembras en celo al mismo tiempo, forman un grupo a su alrededor. Cuando el macho se aproxima a la hembra, una oveja que está en celo permanecerá quieta con su cabeza baja, a menudo mueve vigorosamente su cola y mira sobre sus costados cuando el macho empuja sobre su flanco.

El macho localiza a la hembra en calor por medio de la vista, más que por el olfato (feromonas), y verifica cuál se encuentra en celo por ensayo y error. Una vez que la ha encontrado, olisquea la región de la vulva, lo que origina que el carnero manifieste el signo llamado Flehmen, que consiste en alzar la cabeza levantando al mismo tiempo el labio superior y los ollares. Después realiza movimientos con uno de los miembros anteriores golpeando levemente el costado del animal en celo, al mismo tiempo que emiten sonidos característicos. Todo esto provoca la reacción de inmovilidad de la hembra, que es el principal estímulo para que el macho realice la cópula. Los machos ovinos tienden a distribuir sus servicios entre las hembras receptivas, pero prefieren a las que no han montado antes y a las que empiezan en celo (figura 25.2).

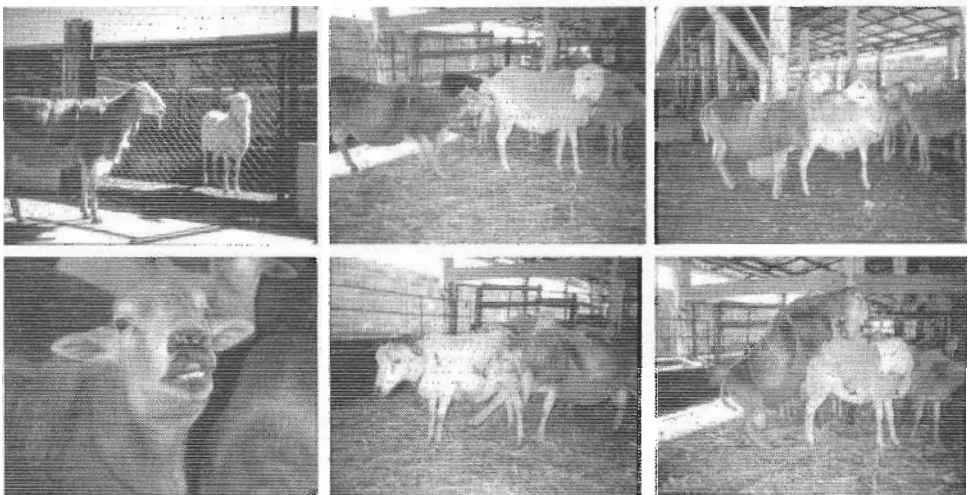


Figura 25.2. Comportamiento sexual durante la detección del celo

25.5. GESTACIÓN

La duración de la gestación normal en las ovejas es de 149 días, con variaciones de 143 ± 4 días. Las ovejas de razas de carne precoces, como la Shouthdown o la Hampshire, y las razas más prolíficas, como la Finnish Landrace y la Romanow, tienen una gestación más corta (144 a 145 días) que las razas de lana fina, como la Merino y la Rambouillet, cuya gestación es de 150 a 151 días.

25.5.1. Características endocrinas de la gestación

En la oveja el mantenimiento de la preñez durante el primer trimestre depende de la funcionalidad del cuerpo lúteo. Posteriormente, la producción de progesterona depende sobre todo de la placenta. La ovariectomía después del día 50 de la gestación no causa el aborto.

25.6. EFECTO DE LA ALIMENTACIÓN EN LA REPRODUCCIÓN

Una práctica común en la reproducción de la oveja es la alimentación suplementaria con aumento en los niveles de energía (flushing) al inicio y al final de la época reproductiva, con lo que se aumenta la tasa de ovulación en las ovejas adultas y en menor grado en las primíparas; esta práctica resulta poco útil a mediados de la estación; en las corderas parece ser menos importante que en las adultas.

La desnutrición y la alimentación deficiente antes del empadre, durante la gestación y después del parto tienen un efecto negativo sobre la tasa de ovulación, la sobrevivencia embrionaria, el porcentaje de parición y la sobrevivencia del recién nacido. La deficiencia en el aporte energético de la dieta durante la gestación puede ocasionar toxemia de la preñez (cetosis) en las ovejas que están gestando más de un producto.

25.7. MÉTODOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA GESTACIÓN

La eficacia reproductiva de las hembras puede ser mejorada notablemente cuando se utilizan técnicas de diagnóstico precoz de la gestación, que permiten una nueva oportunidad de cubrición para aquellas hembras no gestantes en un periodo de monta, o bien la posibilidad de eliminar aquellas hembras no preñadas.

Los métodos que se han utilizado para el diagnóstico de la gestación en la oveja son diversos: la verificación del no retorno al estro, las determinaciones hormonales de progesterona o estrógenos, la palpación recto abdominal, la biopsia vaginal, el uso de rayos X y la palpación abdomi-

nal. Experimentalmente se ha utilizado la observación directa del aparato reproductor mediante laparotomía o laparoscopia, las determinaciones de hormonas específicas de la gestación como los lactógenos placentarios, los interferones o las glicoproteínas asociadas a la preñez. En la actualidad el método más empleado para realizar el diagnóstico de gestación en la oveja es el ultrasonido.

25.7.1. Uso del ultrasonido

Durante mucho tiempo varias técnicas de ultrasonido han sido utilizadas para el diagnóstico de gestación en la oveja. Una posibilidad es el uso de equipos que permiten detectar el eco de las ondas producido por la circulación de la hembra o el feto (métodos que utilizan el efecto Doppler), o equipos que detectan la presencia de fluidos como el líquido amniótico (ecoscopio o ultrasonografía modo A). En la actualidad se cuenta con equipos que permiten visualizar directamente al feto, ultrasonidos de tiempo real (ecografía o ultrasonografía modo B). En algunos sistemas la onda ultrasónica se dirige desde un punto externo localizado en la parte anterior de la ubre hacia la región donde se encuentra el útero, mientras que en otros se aplica por vía rectal.

25.7.1.1. Métodos que usan el efecto Doppler

Este método opera aplicando el principio descrito por Doppler, es decir, la onda de ultrasonido que emite el transductor sufre cambios en su frecuencia al encontrarse con superficies en movimiento por el flujo sanguíneo (cordón umbilical, arteria uterina media, corazón del feto), cambio que es registrado por el mismo equipo. El transductor se aplica por vía rectal o abdominal.

25.7.1.2. Métodos que utilizan la ecoscopia o ultrasonografía (modo A)

Este método consiste en la detección de líquidos en la hembra (ya sea amniótico o de la vejiga en caso de una mala orientación de la sonda externa). Ambos métodos (técnica Doppler y ultrasonografía modo A) generan resultados satisfactorios a partir de los 60 días de gestación. Aun cuando los apliquen operadores muy experimentados, la seguridad para diferenciar entre animales gestantes y no gestantes alcanza entre el 80 y 90%.

25.7.1.3. Métodos que aplican la ecografía o ultrasonografía (modo B)

Este método permite la visualización directa de los líquidos fetales, las carúnculas y el feto. Además es posible detectar el número y la viabilidad de los productos. El examen ultrasonográfico en la oveja se puede realizar de dos maneras; una es aplicando la sonda en la porción ventral del abdomen

(ultrasonografía transcutánea), o introduciendo la sonda por vía rectal (ultrasonografía transrectal). En general el examen transrectal es más seguro que el transcutáneo hasta el día 35 de la gestación. Entre los días 35 a 70 ambos métodos son eficientes. El método transcutáneo se prefiere durante la segunda mitad de la gestación. Los transductores de 5 MHz son las más apropiadas.

La seguridad de un diagnóstico positivo de gestación al utilizar la ultrasonografía transrectal puede exceder el 95%, alrededor del día 25 de la gestación. El examen después del día 40 de gestación permite identificar correctamente a casi todos los animales no gestantes. La ultrasonografía transcutánea permite alcanzar una seguridad del 95%, para un diagnóstico positivo de gestación, si se realiza entre los días 40 a 50, y después del día 50 ésta será del 99%.

25.8. MÉTODOS PARA EL CONTROL ARTIFICIAL DE LA REPRODUCCIÓN

La inseminación artificial (IA) requiere de la inducción del estro y la ovulación cuando las hembras se encuentran en época no reproductiva, y de la sincronización de estros en las hembras que están ciclando. En la oveja, la inducción del estro y la ovulación pueden lograrse mediante métodos naturales o con la administración de métodos hormonales. La sincronización de estros se puede realizar mediante la administración de progestágenos o con sustancias luteolíticas; esta última posibilidad requiere de la presencia de un cuerpo lúteo y en consecuencia sólo puede aplicarse a hembras que están ciclando.

25.8.1. Métodos para la inducción del estro y la ovulación

25.8.1.1. Métodos naturales

A. Bioestimulación

Las señales originadas por las feromonas pueden estimular la función ovárica en la oveja. El ejemplo más claro es la inducción de la ovulación en ovejas anéstricas después de su exposición a los machos. Este fenómeno, a menudo referido como "efecto macho", no se observa si las hembras y los machos están en contacto continuo. Antes se creía que las ovejas deberían permanecer aisladas por varias semanas de los machos para que pudieran responder al estímulo del macho, ahora se conoce que la introducción de machos diferentes a los que normalmente están habituados es suficiente para inducir la ovulación. El efecto macho se ha observado en una gran variedad de razas, pero hay una considerable variación en la

respuesta de la oveja, quizá relacionada con la profundidad de su anestro. Razas con anestos cortos responden más rápido al efecto macho, que razas con anestos más prolongados o profundos.

El efecto macho parece estar mediado primero por feromonas, aunque otras señales sensoriales pudieran intervenir también en la respuesta. Las feromonas son producidas en las glándulas sudoríparas de la piel y su producción está controlada por los andrógenos. Se conoce que la secreción tónica de la LH se incrementa rápidamente después de la introducción de los machos; el aumento se acompaña con desarrollo folicular y la producción de estradiol, que desencadena la liberación preovulatoria de la LH que induce la ovulación. El mecanismo por el cual las feromonas del carnero incrementan la secreción tónica de LH en ovejas anéstricas se desconoce. Existe información que sugiere que altera el mecanismo de retroalimentación negativa ejercido por los esteroides.

Para que el efecto macho se presente, es necesario que las hembras se aislen previamente del mismo, por lo menos 3 a 4 semanas, introduciéndolo 4-6 semanas antes del inicio de la época de empadre. También resulta efectiva la incorporación de un macho diferente al que están habituadas las ovejas. La mayoría de las hembras ovulan en los siguientes dos días después de la introducción del macho, aunque la misma generalmente no se acompaña con la manifestación del estro. Además, la primera ovulación es seguida por un ciclo estral de corta duración (5 a 6 días). Por lo tanto, el periodo del estro que es utilizado para la IA ocurrirá 15 días después de la introducción del macho. Un pretratamiento con progesterona o algún progestágeno, antes de la introducción del macho, mejora la eficiencia del citado método, ya que permite que se manifieste el celo, acompañado de ovulación, evita el desarrollo de ciclos cortos e incrementa la fertilidad.

Existen estudios acerca de la interacción que se ejerce entre hembras (efecto hembra-hembra), es decir, que hembras en estro pueden inducir la actividad ovulatoria de ovejas compañeras que se encuentren en anestro, aunque se requiere más investigación que permita determinar si este efecto puede ser aplicado en forma rutinaria en el control reproductivo de los pequeños rumiantes.

B. Manipulación del fotoperiodo

Existe la posibilidad de manipular el fotoperiodo mediante la aplicación de calendarios de luz artificial (largos y cortos), durante periodos variables de 60 a 90 días. La aplicación de melatonina (oral o en implantes) al final del tratamiento con luz (días largos) simulará rápidamente el inicio de los días cortos mejorando los resultados.

25.8.1.2. Métodos hormonales

A. Aplicación de progesterona o progestágenos

Los progestágenos (progesterona o análogos sintéticos) han sido utilizados para regular la actividad reproductiva de la oveja. En ovejas anéstricas la progesterona o los progestágenos sensibilizan al sistema nervioso central (SNC) para que la hembra manifieste conducta estral. Evita las ovulaciones silenciosas, y posteriormente para una correcta función del cuerpo lúteo (evita formación de cuerpos lúteos de vida media corta). Existen diferentes tratamientos comerciales a base de progesterona o de un progestágeno, que se pueden aplicar por diferentes vías:

1. *Oral:*

- Se utilizan sobre todo análogos sintéticos, los cuales son de 10 a 20 veces más potentes que la progesterona. Por ejemplo el acetato de melengestrol (MGA), el acetato de medroxiprogesterona (MAP) y el acetato de fluorogestona (FGA), los cuales se mezclan con el alimento.

2. *Intravaginal:*

- En esponjas intravaginales de poliuretano, impregnadas con progesterona o con algún progestágeno (FGA o MAP).
- Dispositivos intravaginales de liberación controlada (controlled internal drug release, CIDR); contienen el 12% de progesterona impregnada en un elastómero de silicón inerte a razón de 366 mg/dosis total.

3. *Subcutánea:*

- Implante auricular de hydron (polímero de polimetacrilato) que contiene un progestágeno (norgestomet).

B. Aplicación de gonadotropinas

Su uso requiere de un pretratamiento con progesterona o con algún progestágeno. Las gonadotropinas utilizadas son la hormona folículo estimulante (FSH) y la gonadotropina coriónica equina (eCG o PMSG). Ambas promueven el crecimiento folicular, la producción de estrógenos e incrementan la tasa ovulatoria. La eCG se emplea con mayor frecuencia por su menor costo y su acción prolongada, aunque existe variabilidad en los resultados al emplear la eCG; por lo tanto, será necesario ajustar la dosis de acuerdo con la raza, la edad y el estado reproductivo del animal.

C. Esquemas de aplicación

En general, los esquemas o protocolos utilizados para inducir el celo y la ovulación en ovejas anéstricas implican el uso de progesterona o un progestágeno durante un periodo de 8 a 14 días. Estos tratamientos se pueden acompañar con la aplicación de la eCG (400 a 600 UI), 48 horas antes o al retirar el tratamiento.

Los protocolos más utilizados para la inducción del estro y la ovulación en ovejas anéstricas:

1. Acetato de fluorogestona con eCG; se aplica una esponja impregnada con FGA (30, 40 o 45 mg/ dosis total) durante 10 a 14 días (ovejas en anestro 10-12 días y ovejas ciclando 12-14 días). La eCG se aplica 48 horas antes de retirar la esponja.
2. Acetato de melengestrol con eCG; el MGA se aplica por vía oral, mezclado en el alimento a razón de 0.11 a 0.22 mg/día durante 8 a 14 días, al retirar el tratamiento se administra la eCG.
3. Progesterona (CIDR); este dispositivo vaginal se mantiene durante 14 a 16 días y al retirarlo se aplica la eCG. El CIDR no produce reacción alguna, no se acumula material maloliente ni se adhiere a las paredes de la vagina.
4. Norgestomet; se aplica el implante con Norgestomet (3 mg) durante 10 a 14 días (1 cm del implante contiene 1.2 o 3 mg de Norgestomet).

Los resultados de fertilidad después de la aplicación de los progestágenos varían dependiendo de algunos factores como la época del año, el nivel nutricional, la lactación o el tipo de servicio. En general, cuando se utiliza la inseminación artificial los porcentajes de concepción son inferiores a los de la monta natural.

25.8.2. Métodos para la sincronización de estros

Durante la estación reproductiva es posible la sincronización de estros utilizando progestágenos o prostaglandinas. En hembras cíclicas, el progestágeno retroalimenta negativamente al hipotálamo y suprime las secreciones episódicas de la LH, impidiendo la maduración folicular final y la ovulación hasta el retiro del tratamiento. En ovejas ciclando, la sincronización se consigue sin la eCG, aunque su uso favorece la presentación del estro y la ovulación.

Otra alternativa es aplicar sustancias luteolíticas, la inyección de PG2 α o de algún análogo sintético causan luteólisis del día 5 al día 14 del ciclo de

la oveja. Este método sólo es efectivo durante la época de actividad reproductiva, es decir, cuando las hembras presentan ciclos estrales y tienen cuerpos lúteos funcionales. Existe una gran variedad de prostaglandinas en el mercado, naturales o análogos sintéticos, todas son eficientes para producir la lisis del cuerpo lúteo.

Si se aplica una dosis de prostaglandina en un rebaño, se logra sincronizar solamente entre el 60 y 70% de las hembras; con una segunda aplicación 9 a 11 días después se sincroniza al 100% de los animales. La conducta estral se manifestará entre 30 y 48 horas después de aplicar el tratamiento; la variación en el tiempo de respuesta dependerá del día del ciclo estral en que se aplicó el tratamiento. Los informes acerca de la fertilidad del estro sincronizado con prostaglandinas son controversiales. Además, se ha encontrado que en algunas ovejas ocurren fallas en la luteólisis, por lo que su uso no es muy frecuente.

25.9. FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA DEL CARNERO

En los ovinos, el macho juega un papel relativamente importante en la reproducción, ya que dependiendo del método utilizado para dar los servicios, la relación carnero-oveja puede variar de 1:30 hasta 1:1000 y aún más si se usa inseminación artificial (IA). Sin embargo, es una tendencia frecuente tanto de productores como de investigadores, el prestar menos atención al carnero que a las ovejas. El éxito o fracaso de la participación del macho, en la eficiencia reproductiva, dependerá de su estado de salud, de su libido, de su capacidad para detectar, montar y servir a las ovejas en celo, así como de la cantidad y la calidad de los espermatozoides producidos. La producción de los espermatozoides depende del volumen testicular y, fundamentalmente, de la edad de los carneros, la estación del año y la alimentación que reciben. Para poder manejar a los sementales ovinos eficientemente, es necesario conocer la anatomía y la fisiología reproductiva. En esta sección se revisarán los aspectos fisiológicos más relevantes de la reproducción en el carnero, así como las técnicas reproductivas más difundidas.

25.9.1. Formación y maduración del espermatozoide

Como en todos los machos mamíferos el testículo del carnero produce dos tipos de sustancias, las que se vierten en el medio interno y los espermatozoides que son vertidos al medio externo durante la eyaculación.

En la formación del espermatozoide conocida como espermatogénesis se distinguen tres fases: la proliferación de células hasta la mitosis (espermatocitogénesis), la fase de mitosis y reducción cromática (meiosis) y la

etapa de maduración de las espermátidas (espermiogénesis), la cual no implica división celular alguna.

El testículo está formado fundamentalmente por dos compartimentos separados entre sí: los túbulos seminíferos y el tejido intersticial. Dentro de los túbulos seminíferos se encuentran las células de Sertoli y la línea germinal que da origen al gameto masculino: el espermatozoide. Una de las diferencias fundamentales en el proceso de formación de gametos masculinos, con el de la formación de los gametos femeninos, es que la producción de espermatozoides es continua, aunque por ser una especie estacional en algunas razas se observan cambios en calidad y cantidad de los espermatozoides asociados con la época del año.

Después de la formación del espermatozoide en el testículo, éste se debe desprender de su célula nodriza, la célula de Sertoli, con la cual mantiene una estrecha relación durante todo su proceso de formación, pasando a la luz del tubo seminífero. Este proceso se conoce como espermiación. El espermatozoide que produce el testículo, a diferencia del gameto que produce el ovario, es una célula que ha completado toda la meiosis y por lo tanto es haploide; sin embargo, su fertilidad es muy baja y es una célula inmóvil. La capacidad de fecundar se va adquiriendo primero a través de su tránsito por el epidídimo, proceso conocido como maduración, y alcanza su máxima capacidad en el tracto femenino cuando interactúa con los fluidos presentes en la hembra en celo durante el proceso de capacitación.

25.9.1.1. Control endocrino de la espermatogénesis en el carnero

Las funciones del testículo están directamente reguladas por las gonadotropinas adenohipofisarias: las hormonas folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH). La liberación de dichas hormonas está controlada por el hipotálamo mediante la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). La LH tiene receptores en las células intersticiales o células de Leydig, donde estimula la producción de andrógenos (fundamentalmente testosterona). La testosterona ejerce una retroalimentación negativa sobre el hipotálamo que se expresa en una disminución de la frecuencia de los pulsos de la GnRH. Además, los andrógenos actúan reduciendo la respuesta hipofisaria a la GnRH, lo que determina una reducción en la amplitud de los pulsos de la LH y una disminución en la secreción de la FSH. La FSH tiene receptores en las células de Sertoli, donde estimula la síntesis de inhibina y de la proteína ligadora de andrógenos (ABP). La inhibina inhibe la secreción de la FSH en la adenohipofisis, mientras que la función principal de la ABP es facilitar el transporte de los andrógenos dentro del testículo y concentrarlos en los túbulos seminíferos, donde son necesarios para la espermatogénesis. En la

regulación de la espermatogénesis intervienen además otros esteroides como los estrógenos, producidos en las células de Sertoli a partir de andrógenos, y diversos factores paracrinos y autocrinos que regulan localmente diferentes etapas del proceso.

25.9.2. Semen: espermatozoides y plasma seminal

El semen de carnero se caracteriza por eyaculados de relativamente bajo volumen (0.8 a 1.2 ml en promedio) y de una alta concentración espermática (3 a 5 mil millones de espermatozoides por ml). El número de espermatozoides producidos por los testículos está directamente relacionado con el peso de los mismos; se estima que cada gramo de testículo produce aproximadamente 20 millones de espermatozoides por día, por lo tanto, la selección de los carneros por el peso de sus testículos permite disponer de animales potencialmente capaces de servir a un mayor número de ovejas. Por esta razón la evaluación de la circunferencia escrotal, como estimador del peso testicular, es de gran valor por ser una prueba sencilla, barata, objetiva y de alta repetibilidad y correlación entre técnicos entrenados.

Diversos estudios han buscado determinar la cantidad de masa testicular que se requiere para servir efectivamente a un determinado número de ovejas, observando variaciones importantes en los resultados de los mismos (entre 250 y 700 g de testículo por cada 100 ovejas), lo que indica que existen diversos factores que influyen dichos hallazgos: variaciones individuales de la fertilidad de los carneros, fertilidad relativa de los grupos de hembras considerados, interacciones sociales entre machos y hembras, y factores ambientales como tamaño de los potreros y su topografía. La curva de la fertilidad en función del número de espermatozoides utilizados en el servicio, es una curva asintótica, indicando que por encima de determinados valores de espermatozoides no se obtiene mayor fertilidad. Ese valor crítico a partir del cual no es necesario aumentar al número de espermatozoides, se encuentra aproximadamente en 50 millones de espermatozoides, aunque con diferencias entre los diversos autores que estudiaron el tema, indicando otra vez variaciones en los efectos individuales y ambientales.

La producción espermática está influenciada por varios factores. En razas más estacionales, los carneros producen mayor número de espermatozoides en otoño que en primavera, al variar tanto el tamaño testicular como el número de espermatozoides producidos por gramo de testículo. Estos cambios son controlados por las variaciones del fotoperíodo, lo que fue demostrado en experimentos con regímenes de luz artificial. Estos efectos no son tan marcados en razas menos estacionales, como el Merino. En carneros Merino Australiano se demostró un fuerte efecto del consumo de proteína y

de energía sobre la producción espermática. Los testículos de estos carneros responden a los cambios nutricionales en el mismo sentido que su peso vivo pero en una proporción mucho mayor.

La morfología espermática no presenta valores elevados de espermatozoides anormales, salvo en condiciones patológicas. Se consideran valores normales por debajo del 20% de anormalidades totales. La conservación del semen a temperaturas reducidas provoca importantes daños especialmente en las membranas espermáticas. Otro aspecto limitante para su conservación son los porcentajes elevados de capacitación espermática temprana, lo que determina altos porcentajes de espermatozoides incapaces de fertilizar el ovocito. El plasma seminal juega un papel importante en la prevención de la capacitación espermática; en investigaciones recientes, congelando semen ovino con el agregado de plasma seminal en el diluyente, se han logrado resultados de fertilidad similares usando semen congelado y fresco.

25.9.3. Comportamiento sexual

El deseo sexual o libido depende de los niveles sanguíneos de testosterona y por lo tanto en los carneros de algunas razas, varía estacionalmente de acuerdo a los niveles de esta hormona. Este aspecto se suma a las variaciones de la producción espermática para condicionar los resultados de los servicios en el campo.

La capacidad de servicio es una medida de la habilidad de los carneros para servir a las hembras. Se han propuesto diversas pruebas para su evaluación, que comprenden la exposición de uno o varios carneros a un grupo de hembras y evaluarlos si éstas presentan estro. La capacidad de servicio mide el número de montas y montas efectivas que efectúan los carneros en ese tiempo y, por lo tanto, se considera una estimación del comportamiento reproductivo potencial del semental evaluado. El comportamiento reproductivo depende de diferentes factores como la edad, la alimentación, el tamaño testicular, los factores ambientales como la temperatura y la precipitación pluvial, las interacciones sociales entre los machos y las hembras y el estado de salud de los carneros.

25.9.4. Pubertad

La pubertad del macho se define frecuentemente como la edad a la cual la reproducción es posible. Para establecer prácticamente su momento se pueden utilizar algunos eventos visibles que están vinculados con el proceso. Por ejemplo, uno de los elementos vinculados con la pubertad que puede

observarse claramente, es la pérdida de la adherencia prepucial que se inicia con la liberación del proceso uretral y luego del glande, que hasta ese momento se encontraban adheridos al prepucio no permitiendo el libre desplazamiento del pene. Los cambios asociados con el crecimiento testicular y la producción espermática ofrecen otras alternativas para estimar el comienzo de la pubertad. El inicio de la espermatogénesis si bien puede variar entre razas, se produce entre los 2 y 3 meses de edad independientemente de la época del nacimiento. Sin embargo, la aparición de espermatozoides en el eyaculado se demora hasta aproximadamente los 6 meses. La calidad de los espermatozoides, medida como el porcentaje de espermatozoides morfológicamente normales, es muy baja inicialmente y progresa paulatinamente con la edad.

El tamaño testicular se incrementa notablemente desde la aparición de los primeros espermatozoides hasta alcanzar la madurez sexual (la capacidad reproductiva máxima). Durante dicho periodo los testículos duplican su tamaño. La velocidad de crecimiento testicular durante el periodo previo y posterior a la pubertad es mayor que el crecimiento corporal. El crecimiento testicular se acompaña con un incremento del volumen y la concentración espermática, aunque existen variaciones condicionadas por la alimentación y por la estación del año en que nacen los corderos. El incremento en la alimentación de los corderos puede adelantar la edad a la pubertad, pero en ese caso también el peso a la pubertad se incrementa, lo que indica que la pubertad estaría influenciada tanto por el peso como por la edad; es así que los datos publicados en la literatura para la edad a la pubertad en el macho ovino de una misma raza, varían según los sistemas de producción, con edades más tempranas en los sistemas de estabulación y alimentación controlada y más tardías en los sistemas pastoriles en campos nativos.

El mecanismo neuroendocrino que regula el inicio de la pubertad ha sido más estudiado en la hembra que en el macho. El mecanismo propuesto incluye la disminución de la sensibilidad hipotalámica a la retroalimentación negativa de los andrógenos. Como consecuencia de ello, la pulsatilidad de la LH se incrementa y estimula un aumento de la síntesis de andrógenos testiculares. La FSH también aumenta y juega un papel fundamental en el crecimiento testicular durante el proceso de la pubertad. A diferencia de lo que ocurre en la hembra, la época de nacimiento del cordero no influye en el inicio de la pubertad y se cree que esto se debe a la exposición del hipotálamo fetal a los esteroides gonadales durante la gestación.

25.9.5. Estacionalidad reproductiva en el carnero

En el carnero las variaciones estacionales de la actividad reproductiva no son tan marcadas como en la oveja. Aunque la mayoría de los trabajos publicados sobre el tema indican que la producción espermática se mantiene a lo largo del año, dependiendo de la raza y el lugar donde se encuentren los animales. El resultado de estas variaciones se refleja en cambios al menos cuantitativos, a lo largo del año, de la capacidad reproductiva de los carneros y el tamaño testicular, lo que puede condicionar los programas de reproducción fuera de estación y de producción de semen congelado.

25.9.5.1. *Mecanismo neuroendocrino que regula la estacionalidad reproductiva en el macho*

Los ovinos captan los cambios en el fotoperiodo, a través de la retina, donde la señal fotónica se transforma en señal nerviosa, y luego de distintas sinapsis, que incluyen el ganglio cervical superior, llega a la glándula pineal, donde la señal nerviosa es transformada en una señal hormonal: la hormona melatonina. Por lo que, el sistema de lectura de las horas luz, se expresa como cambios en la secreción de esta hormona, encontrándose los niveles más altos durante el periodo de oscuridad y los más bajos en las horas de luz. La melatonina es entonces, el punto final del trayecto neural que se inicia en la retina, y es a su vez, el punto de inicio del trayecto hormonal que determina la modificación de la pulsatilidad de la GnRH y, por lo tanto, de las hormonas que regulan la reproducción.

Sin embargo, la melatonina no genera el ciclo testicular estacional, sino que su función es sincronizar el ritmo endógeno de los distintos individuos y ajustarlo a un periodo de 12 meses. Al respecto se conoce que cuando se aplica un fotoperiodo constante a carneros, se siguen observando cambios cíclicos en las concentraciones de las hormonas reproductivas y del volumen testicular, lo cual dura menos de un año, lo que significa que el fotoperiodo es utilizado por el carnero para ajustar su ritmo reproductivo endógeno a un año.

En el macho, el fotoperiodo regula la pulsatilidad de la GnRH y la LH, la secreción de la FSH, la respuesta de la adenohipófisis a la GnRH y la respuesta testicular de las células de Leydig a la LH. Por lo tanto es responsable del volumen testicular y la secreción de testosterona. A nivel testicular se producen cambios que explican las variaciones en el volumen de los testículos, tales como en el tamaño de los túbulos seminíferos y cambios sobre las células de Sertoli.

A pesar del conocimiento acumulado, existen importantes aspectos del mecanismo por el cual las horas luz regulan la estacionalidad reproductiva

en el carnero que aún se desconocen. Uno de ellos, en el que no hay acuerdo entre investigadores, es si ambos sexos comparten el mismo mecanismo, a pesar de que el sistema de lectura de las horas luz es aparentemente el mismo para los dos.

El fotoperiodo es la señal más importante que regula la estacionalidad reproductiva de los carneros. Sin embargo, los ciclos testiculares varían entre razas, siendo las razas mediterráneas o tropicales las que muestran los menores cambios a lo largo del año y las razas originarias de latitudes más alejadas del ecuador las que presentan los mayores cambios. El fotoperiodo también es un predictor de la disponibilidad futura de alimentos, la cual suele ser máxima en primavera, por lo que la estrategia desarrollada por los ovinos implica tener una estación de cría en otoño para los partos que se producen en la primavera, cuando las posibilidades de sobrevivencia de los corderos serán mayores. Sin embargo, no en todas las regiones del planeta la disponibilidad de pasturas es máxima durante ese periodo. Por ejemplo, en los climas mediterráneos la mayor disponibilidad de pastura se produce en invierno y primavera, condicionada por la época de lluvia. Los animales de la raza Merino, que responden al fotoperiodo como las otras razas ovinas, también responden a señales nutricionales. Esta raza es flexible en cuanto a su dependencia del fotoperiodo, a tal punto que la nutrición puede contrarrestar los efectos negativos del fotoperiodo, por lo que los carneros Merino adultos se comportan como reproductores oportunistas más que estacionales puros. El carnero Corriedale está en una situación intermedia, a pesar de que el ciclo testicular es similar al del carnero Merino; cuando ambas razas están bajo las mismas condiciones, la nutrición modera el efecto del fotoperiodo, pero no lo contrarresta. Es así que la disminución de la circunferencia escrotal se produce en carneros suplementados durante el otoño al igual que en los no suplementados, pero la disminución es menor en los primeros que en los segundos. En primavera los carneros suplementados presentan un mayor crecimiento testicular que los no suplementados, en los cuales la circunferencia escrotal también aumenta, a pesar de la restricción nutricional impuesta.

25.9.6. Efecto de la nutrición sobre la función reproductiva

En términos generales, el volumen testicular determina la capacidad de producción espermática en el carnero. El máximo volumen testicular está limitado por el potencial genético del animal o de la raza, pero el plano nutricional puede limitar la manifestación de ese potencial. Desde hace tiempo se conoce la estrecha relación que existe entre el peso corporal y el tamaño testicular, siendo los carneros más pesados aquellos que poseen el mayor tamaño

testicular. Durante los empadres el volumen testicular de los carneros disminuye debido a la disminución del consumo que registran durante ese periodo. Sin embargo, el ritmo de decrecimiento de los testículos es independiente del volumen testicular al momento del inicio del empadre o de la relación carnero-oveja.

Teniendo en cuenta que, al menos en los carneros Merino, la producción espermática es relativamente constante (20×10^6 espermatozoide/g de tejido testicular), los carneros con una mayor tasa de producción espermática, es decir, con mayor volumen testicular, mantienen esa superioridad a lo largo del empadre. Los carneros mejor alimentados presentan además una mejor eficiencia testicular produciendo más espermatozoides por gramo de testículo, por lo que una medida de manejo para lograr el mejor uso de los carneros es el aumentar el nivel de alimentación 60 días antes del empadre. La nutrición entonces tiene influencia en el tamaño testicular, el diámetro de los túbulos seminíferos y la producción espermática.

25.9.6.1. Mecanismo de acción de la nutrición

Si bien los efectos de la nutrición sobre la función reproductiva del carnero se conocen hace tiempo, los mecanismos y señales involucradas aún no están claramente establecidos. El aumento en el volumen testicular que se observa luego de aumentar el plano nutricional, no va acompañado de un incremento de la secreción de testosterona por el testículo. Esta respuesta incluye un aumento de la pulsatilidad de la LH, 2 a 3 días después de comenzada la suplementación, pero que desaparece y se vuelve indetectable 3 semanas después, mientras que la concentración de la FSH aumenta entre 7 y 10 días después de iniciada la suplementación manteniéndose por varias semanas. La tercera respuesta es un incremento en el tamaño testicular que se detecta por lo menos 2 a 4 semanas después, pero que se mantiene por lo menos durante dos meses. Si bien estos hallazgos sugieren que la nutrición influencia la actividad reproductiva a través de mecanismos GnRH dependientes, la transitoriedad del incremento de la pulsatilidad de la LH, sumada a la respuesta de carneros Merino inmunizados contra la GnRH y suplementados, sugieren que el efecto de la nutrición también estaría mediado por caminos GnRH independientes. En efecto, la suplementación disminuye el impacto negativo que la inmunización contra la GnRH tiene sobre el tamaño testicular.

Las señales nutricionales y metabólicas que influyen en el crecimiento testicular no son bien conocidas. Desde hace tiempo se sabe que para lograr un desarrollo pleno de los testículos se requiere un balance apropiado entre el nivel de energía y de proteína de la dieta. Sin embargo, el crecimiento

testicular parece ser más dependiente de la energía metabolizable que del contenido en proteína cruda de la dieta. Se requiere más investigación en esta área del conocimiento que permita comprender cómo la nutrición influencia el crecimiento testicular en el carnero, y desarrollar alternativas para un manejo más eficiente de los recursos nutricionales de los que se dispone.

25.10. MÉTODOS PARA EL CONTROL ARTIFICIAL DE LA REPRODUCCIÓN EN EL MACHO

25.10.1. Recolección, evaluación y preservación del semen

En los ovinos la vagina artificial (VA) es el método de elección para recolectar semen para su utilización en la inseminación artificial (IA). La temperatura de la VA conjuntamente con la presión que se ejerce por medio de ésta en el pene, son los estímulos para la eyaculación. El semen obtenido tiene las mismas características que el eyaculado durante la cópula. El único inconveniente de este método es que en algunos carneros requiere un proceso de entrenamiento que puede tardar algunos días. En el caso de requerir una evaluación seminal de carneros de campo, puede utilizarse la electroeyaculación, pero en ese caso los eyaculados contienen mayor cantidad de plasma seminal. Este método también puede ser de interés en caso de sementales de gran valor que por tener afecciones en su aparato locomotor no puedan montar. A estos animales se les puede recolectar semen con el electroeyaculador y utilizarlo para la IA.

25.10.2. Inseminación artificial

La inseminación artificial en los ovinos tuvo una temprana aplicación en sistemas de producción en la Unión Soviética y poco después en la región del Río de la Plata, Argentina. La IA con semen fresco, dentro de las dos primeras horas luego de su recolección, y aplicado en la entrada del cérvix, tuvo una rápida difusión en países con gran desarrollo de la producción ovina. Esta técnica permitió la utilización de sementales de gran valor que por esa vía pueden servir varios miles de ovejas en un año. La utilización de semen conservado está limitada en la especie por los bajos resultados de fertilidad que se obtienen. La obtención de resultados elevados de fertilidad con semen congelado está restringida al uso de la IA por vía laparoscópica o transcervical, lo que dificulta su difusión masiva. Esta limitación impide la utilización de semen de un mismo carnero en diferentes rebaños en forma simultánea y más aún en rebaños distantes. La utilización de semen refrigerado,

almacenado durante 24 a 48 horas, permite obtener resultados de fertilidad aceptablemente buenos y facilita su transporte a lugares más o menos distantes. Obtener técnicas efectivas y de sencilla aplicación, para conservar el semen y para su aplicación artificial, sigue siendo aún una meta por alcanzar.

25.11. LITERATURA RECOMENDADA

- Arendt, J. 1998. *Melatonin and the pineal gland: Influence on mammalian seasonal and circadian physiology*. Rev Reprod 3:13.
- Bittman, E.L., Dempsey, R.J., Karsch, F.J. 1983. *Pineal melatonin secretion drives the reproductive response to day length in the ewe*. Endocrinology 113:2276.
- Cerna, C., Porras A., Valencia J., Perera G., Zarco L. 2000. *Effect of an inverse subtropical (19 13'N) photoperiod on ovarian activity, melatonin and prolactin secretion in Pelibuey ewes*. Anim Reprod Sci 60-61:511.
- Chemineau, P., Malpoux, B., Thiéry, J.C., Viguié, C., Morello, H., Zarazaga, L., Pelletier, J. 1995. "The control of seasonality: A challenge to small ruminant breeding". En: Enne G, Greppi GP, Lauria A, editors. *Reproduction and Animal Breeding, Advances and Strategy*. París. Elsevier 225.
- Claypool, L.E., y Foster, D.L. 1990. *Sexual differentiation of the mechanism controlling pulsatile secretion of luteinizing hormone contributes to sex differences in the timing of puberty in sheep*. Endocrinology 126:1206.
- Ebling, F.J.P., Foster, D.L. 1988. *Photoperiod requirements for puberty differ from those for the onset of the adult breeding season in the female sheep*. J Reprod Fertil 84:283.
- Evans, G., y Mawell, W.M.C., 1987. *Salamon's artificial insemination of sheep and goats*. Butterworths, Sydney.
- Foster, D.L. 1994. "Puberty in the female sheep". En: *The Physiology of Reproduction* Vol. 2 pp 411-451 Eds E Knobil E and JD Neill. Raven Press, New York.
- Foster, D.L., Karsch, F.J., Olster, D., Ryan, K.D., Yellon, S.M. 1986. *Determinants of puberty in a seasonal breeder*. Recent Prog Horm Res 42 331.
- Galloway, S.A., McNatty, K.P., Cambridge, L.M., Laitinen, M.P.E., Juengel, J.L., Jokiranta, T.S., McLaren, R.J., Luiro, K. Dodds, K.G., Montgomery, G.W., Beattie, A.E., Davis, G.H., Ritvos, O. 2000. *Mutations in an oocyte-derived growth factor gene (BMP15) cause increased ovulation rate and infertility in a dosage-sensitive manner*. Nat Genet 25:279.

26. CANINOS

ROSA MARÍA PÁRAMO RAMÍREZ

- 26.1. INTRODUCCIÓN
- 26.2. CANINOS
- 26.3. LITERATURA RECOMENDADA

26.1. INTRODUCCIÓN

En el aspecto reproductivo, los caninos poseen características particulares que difieren notablemente de las demás especies domésticas tanto en su conducta sexual como en otros aspectos de su fisiología reproductiva. En esta especie, el conocimiento de la fisiopatología de la reproducción es indispensable para resolver problemas de infertilidad, así como también para controlar el crecimiento de su población. Cabe mencionar que en el canino, el manejo es individual, ya que no se hacen manejos grupales, de inducción o sincronización de estros, como en el caso de la mayoría de los animales domésticos. Además, es notoria la influencia que ha tenido el ser humano sobre el comportamiento normal de esta especie, alterándolo, lo que constituye una fuente adicional de problemas reproductivos.

La perra se clasifica desde el punto de vista reproductivo como un animal monoéstrico no estacional, ya que su actividad reproductiva no está restringida a una estación del año en particular. En un estudio llevado a cabo con perras callejeras en la Ciudad de México, se pudo determinar que únicamente el 17% de la actividad reproductiva observada podía relacionarse con el fotoperiodo. La disminución del fotoperiodo, a fines del verano y principios del otoño, incrementaba la frecuencia de estros. La mayor incidencia de estros se relacionó más bien con la radiación global que con el fotoperiodo.

Estos resultados no concuerdan, por razones obvias de localización geográfica, con un estudio realizado en Gales, Inglaterra, en el que informaron que el inicio del proestro sucedía de febrero a mayo. En otra investigación,

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Reproducción en caninos", elaborado por Javier Valencia y Ana Calderón.

llevada a cabo con 87,880 camadas registradas por la American Kennel Club de 1971 a 1973, se encontró que el pico de actividad reproductiva sucedía al final del invierno e inicio de la primavera.

Sin embargo, todos los estudios tienen en común el que haya habido ciclicidad a lo largo del año. Los picos de mayor actividad difieren de acuerdo con la situación geográfica en que se encuentren los animales. Las hembras muestran uno o dos ciclos por año, con un anestro de 5 a 11 meses.

26.2. CANINOS

26.2.1. Pubertad

El inicio de la pubertad en los perros se relaciona más con el peso que con la edad. Por lo tanto, los factores que impiden alcanzar el peso adecuado, ocasionan un retraso en la presentación de la pubertad.

Por lo general, la pubertad es más temprana en las razas de talla pequeña (entre 6 y 10 meses de edad), que en las grandes (hasta los 2 años de edad).

Los animales que se crían en condiciones de libertad son más precoces que aquellos mantenidos en encierro. Sin embargo, la madurez sexual, o sea cuando la tasa ovulatoria alcanza su pico máximo, puede ocurrir hasta después del tercero o cuarto estros.

26.2.2. Anatomía de la hembra

Los ovarios de la perra se encuentran cubiertos por la bolsa ovárica, la que muestra una abertura ventral (figura 26.1). El hecho de que la bolsa ovárica cubra completamente al ovario, impide que se pueda verificar la actividad ovárica por laparoscopia, ya que los folículos o los cuerpos lúteos no son visibles en la superficie del ovario, a menos que se incida la bolsa, lo cual se dificulta debido a que el oviducto corre por la pared interna de dicha bursa (figura 26.2).

El útero es bicornual (figura 26.3), con un cuerpo corto y cuernos extremadamente largos y delgados dispuestos en forma de V. La vagina es larga, y la os externa del cérvix se encuentra en el techo de la porción craneal de la misma. La vagina termina en su parte más profunda en un fondo de saco o fórnix. Esta característica, aunada al hecho de que los pliegues longitudinales de la mucosa vaginal aumentan de tamaño durante el estro, ocultan el inicio del cérvix, visualizándose únicamente la entrada del fondo del saco, que erróneamente puede confundirse con la entrada al cérvix por lo que se conoce comoseudocérvix (figura 26.4).

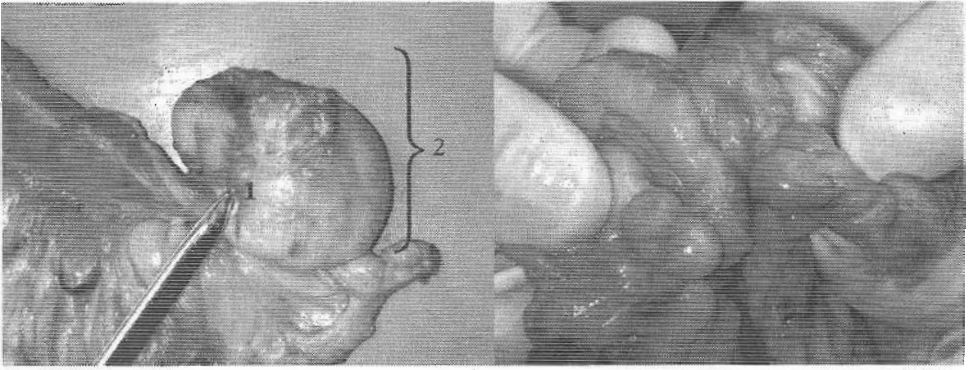


Figura 26.1. 1. Ovario cubierto por bolsa ovárica mostrando abertura ovárica. 2. Bolsa ovárica. A la derecha se muestra la inserción del ovario a la bolsa ovárica

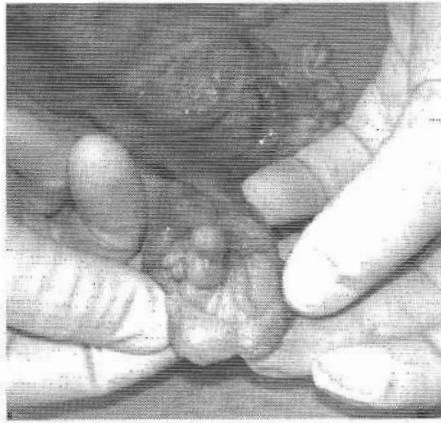


Figura 26.2. Bolsa ovárica abierta mostrando estructuras ováricas

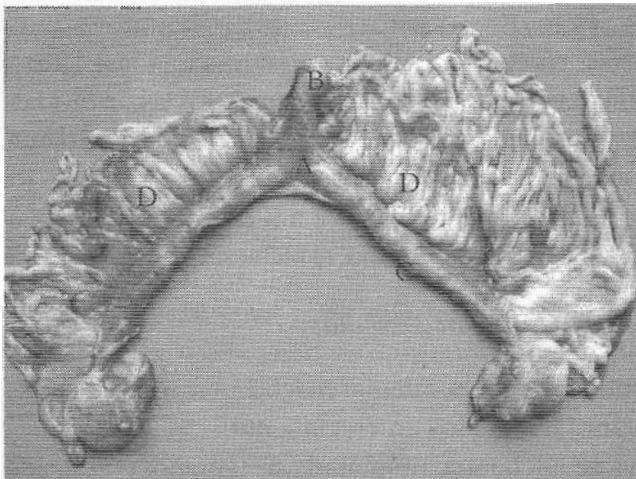


Figura 26.3. Aparato genital femenino. A: útero. B: cérvix. C: cuernos uterinos. D: ligamento ancho

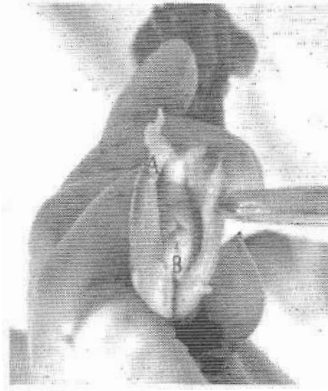


Figura 26.4. Cérnix. Entrada del cérnix. A: ligamento dorsal; B: abertura cervical

En la región vagino-vestibular sobre la pelvis, se encuentra una estructura circular llamada *cingulum*, la cual normalmente deberá relajarse durante el estro; sin embargo, ocasionalmente esto no sucede y la hembra rehusará la cópula. Esta misma estructura representa un obstáculo cuando se trata de introducir el hisopo para la toma de la muestra de citología vaginal o del catéter para la inseminación artificial.

En esta región puede haber también persistencia de bandas, tumores o alguna otra anomalía. Por eso es recomendable que antes de dar monta a la perra se haga la revisión manual del animal. En ocasiones se han llegado a inseminar perras con esta condición, descubriéndose el problema hasta el momento del parto.

26.2.3. Ciclo estral

Existe controversia en cuanto a la nomenclatura de la fase lútea del ciclo de la perra. Algunos autores la denominan metaestro, otros la han dividido en metaestro I y metaestro II, y finalmente otros se refieren a ella sólo como diestro. La dificultad en la nomenclatura radica en el hecho de que en esta especie los folículos crecen, se luteinizan y producen progesterona 2 a 3 días antes de la ovulación, lo que ocurre al inicio del estro. Por lo mismo, el metaestro quedaría incluido en el estro.

26.2.3.1. Proestro. Duración 3-20 días

Comportamiento: la hembra atrae al macho pero no lo acepta.

Estructuras ováricas: folículos en crecimiento.

Signos: la vulva se encuentra aumentada de tamaño, enrojecida y se observa una secreción sanguinolenta que fluye a través de los labios. El aumento de estrógenos durante el proestro causa fragilidad capilar y aumento de

permeabilidad de los vasos sanguíneos provocando la afluencia de eritrocitos hacia el lumen uterino, lo que da ese aspecto sanguinolento a la secreción. Algunas perras no sangran sino hasta el inicio del estro y no en el proestro. Por esta razón, para determinar el día del servicio o monta es importante evaluar la citología vaginal desde que se inicia el sangrado y no esperar a que éste cese, o fijar un día determinado, como es la errónea práctica de hacerlo hasta el día 9 del inicio del sangrado, o a los 9 días de que la perra haya dejado de sangrar.

26.2.3.2. Estro. Duración 3-20 días

Comportamiento: receptividad al macho; sin embargo muchas hembras no lo aceptan en ningún momento.

Estructuras ováricas: folículos de Graaf que ovulan al inicio de esta etapa.

Signos: vulva inflamada, el sangrado continúa al inicio de esta etapa.

26.2.3.3. Ovulación

Al iniciarse el proestro, un gran número de folículos pequeños y medianos empiezan a desarrollarse, algunos degeneran y otros llegan a constituirse en folículos de Graaf, con un diámetro de 0.6 a 1.0 cm. La ovulación es espontánea y sucede en los primeros 2 días del estro. Los ovocitos son liberados en etapa de ovocito primario, transcurriendo de 48 a 72 horas para que finalice la primera meiosis y maduren hasta ovocito secundario a fin de que puedan ser fertilizados. Una vez que han alcanzado esta etapa, su viabilidad es de 48 a 72 horas. Existe evidencia que indica que los espermatozoides pueden penetrar los ovocitos desde que son primarios.

Los embriones permanecen de 9 a 10 días en el oviducto y descienden al útero en etapa de mórula tardía o blastocisto temprano.

26.2.3.3.1. Diestro

El diestro en la perra vacía tiene una longitud de 80 a 100 días.

Signos: al inicio la vulva puede seguir inflamada, no habiendo flujo sanguinolento, ni atracción hacia al macho.

En esta etapa progestacional o de diestro, puede llegar a ocurrir la pseudogestación o piómetra. Por lo tanto, es muy importante verificar el estado del útero postestro por ultrasonido 35-40 días después de la última monta o inseminación.

26.2.3.3.2. Anestro

El anestro puede tener una duración de 4, 6 o 10 meses.

Se inicia al finalizar el diestro en hembras no gestantes, o al terminar el parto en hembras gestantes. La perra es la única especie doméstica en la que el anestro forma parte del ciclo.

Signos: la vulva es pequeña. No hay sangrado. No atrae al macho. El incremento en la longitud del anestro después de una gestación parece deberse más al efecto de la lactancia que a la gestación en sí.

26.2.4. Endocrinología

Los niveles de FSH empiezan a aumentar al final del anestro, disminuyen durante el proestro (contrario a lo que sucede en la vaca), para elevarse nuevamente hasta alcanzar sus niveles máximos alrededor del pico ovulatorio de LH. Los pulsos de esta hormona se incrementan moderadamente al final de la gestación. También se observan algunos pulsos durante la mayor parte del anestro. Los niveles normales de FSH al inicio del proestro son de 175 ± 15 mg/ml, a mitad del proestro de 26 ± 6 mg/ml, durante el pico periovulatorio de 311 ± 30 mg/ml, y en el anestro de 140 ± 8 mg/ml.

La hormona LH es inductora de la ovulación y tiene su pico preovulatorio 1 a 2 días después del pico de estradiol que ocurre al final del proestro. Sus niveles normales al inicio del proestro son de 1.8 ± 0.1 ng/ml, a mitad del proestro de 0.7 ± 0.1 ng/ml, durante el pico ovulatorio de 9.8 ± 0.5 ng/ml, y en el anestro de 1.2 ± 0.1 ng/ml.

La secreción de prolactina empieza a elevarse al inicio del diestro (metaestro) llegando a sus niveles máximos a la mitad de este periodo, ya que interviene en el mantenimiento del cuerpo lúteo, por ser luteotrópica en la perra. Otra función de la prolactina en el canino es que no únicamente interviene en el desarrollo del comportamiento materno, sino también en el paterno (figura 26.5).

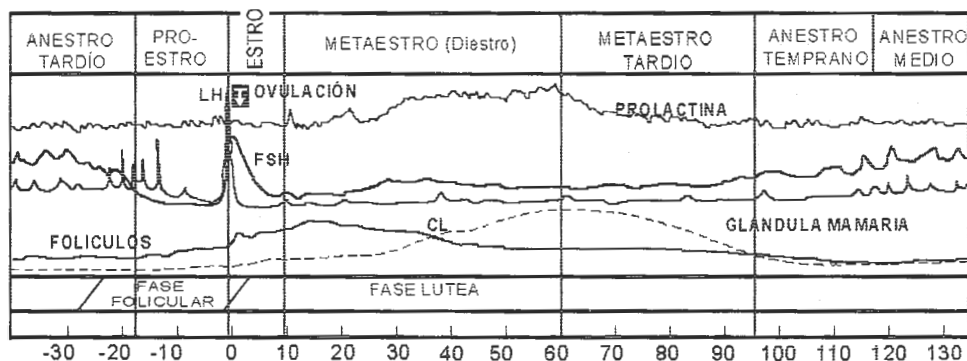


Figura 26.5. Patrón de secreción de: LH, FSH y prolactina. Modificado de P.W. Concannon. *Biology of gonadotrophin secretion in adult and prepuberal female dogs. Reprod. and Fertility supplement 47, 1993*

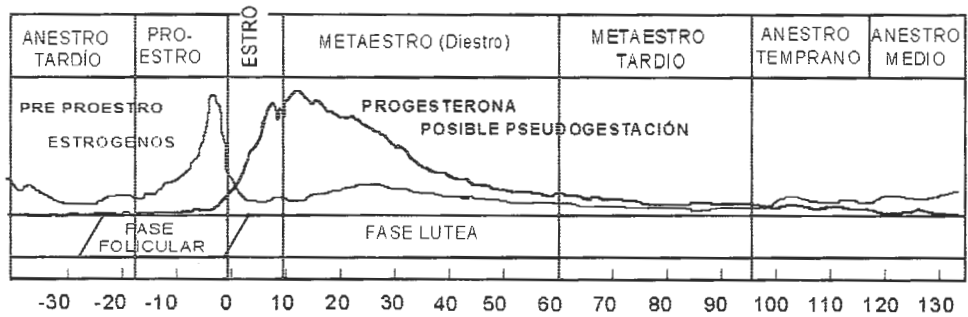


Figura 26.6. Patrón de secreción de progesterona y estrógenos. Modificado de P.W. Concannon. *Biology of gonadotrophin secretion in adult and prepuberated female dogs. Reprod. and Fertility suppl 47, 1993*

Los estrógenos son producidos por los folículos en crecimiento, tienen su pico máximo al finalizar el proestro e inicio del estró. Los valores basales son de 5-10 pg/ml y el pico de 50 a 100 pg/ml.

En la perra la progesterona empieza a producirse en los folículos en crecimiento aun antes de que ocurra la ovulación. Sus niveles se elevan hacia el final del proestro y ocasionan el inicio de la receptividad sexual. Desafortunadamente no todas las perras aceptarán al macho, a pesar de que esta relación hormonal ya se haya llevado a cabo. Sus niveles basales son de 0.2-0.5 ng/ml y el pico de 15-90 ng/ml (figura 26.6).

Debido a que el cuerpo lúteo produce progesterona aun cuando la hembra no esté gestante, la determinación de los niveles de esta hormona no se puede utilizar para el diagnóstico de gestación.

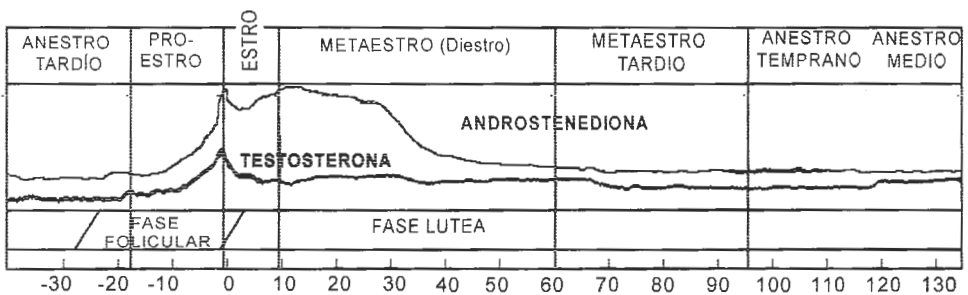


Figura 26.7. Patrón de secreción de testosterona y androstenediona. Modificado de P.W. Concannon. *Biology of gonadotrophin secretion in adult and prepuberated female dogs. Reprod. and Fertility suppl 47, 1993*

26.2.4.1. Testosterona y androstenediona

Los niveles de testosterona que se observan en la figura 26.7 son de 0.1 a 1 ng/ml, mientras que los de androstenediona son de 0.2 a 2 ng/ml.

26.2.5. Anormalidades del ciclo estral

26.2.5.1. *Estro dividido*

Esta condición consiste en que después de iniciado el proestro, con todos los signos normales como aumento de la vulva, sangrado vaginal y atracción del macho, repentinamente todos estos signos desaparecen para reiniciarse 1 o 2 semanas después; estos periodos pueden repetirse varias veces. En el último periodo ocurre la ovulación y, por lo tanto, puede ser fertilizada la perra. Sin embargo, como no hay manera de saber esto, habrá que darle monta cada vez que se presente esta situación, o inseminarla si no acepta al macho.

26.2.5.2. *Estro silencioso o falso anestro*

Se refiere a la condición que se presenta cuando erróneamente se asume que la perra no está ciclando. Son ciclos en los cuales no se observan signos externos muy evidentes y que, por lo mismo, pueden pasar desapercibidos; sin embargo sí ocurre la ovulación. En estos casos se recomienda al propietario del animal, que si ya tiene idea de la fecha aproximada en que la perra debería ciclar, y aunque no tenga una idea exacta, entonces evalúe semanalmente su citología vaginal y de esa manera determine si ya hay actividad estrogénica en la hembra. Para facilitar la detección del celo, a continuación se mencionan algunos posibles errores.

1. Esperar un sangrado profuso. Hay que aclarar que el sangrado estral es escaso en muchas hembras; además, cuando el color de la perra es oscuro o tiene pelaje muy largo, puede no apreciarse a simple vista.
2. Si el pelaje de la perra es muy largo, frecuentemente no se observa ni siquiera la inflamación de la vulva, además de que en algunas hembras la vulva no aumenta mucho de tamaño.
3. Que la perra habite en un jardín donde difícilmente apreciarán el goteo del sangrado sobre el pasto.
4. Hay hembras que al estar sangrando se limpian constantemente la vulva mediante lamidos, único signo que observa el propietario.
5. Cuando la perra cohabita con un macho al que ella domina y que por lo tanto ya no intenta montarla; sin embargo al acercársele cualquier otro perro frecuentemente se presenta una reacción positiva.

Por lo tanto se recomienda que se observe y revise en forma más cuidadosa al animal, al menos una vez por semana, para ver si la vulva está inflamada; asimismo, se sugiere limpiar la vulva con una gasa o algodón húmedo para ver si hay flujo sanguinolento, vigilar si la perra tiene periodos de aseo genital excesivo y muestrearla para analizar su citología vaginal.

Lo anterior indica que frecuentemente el sangrado y el comportamiento no son signos definitivos que permitan determinar el inicio del periodo fértil en esta especie, por lo cual la razón principal de que una hembra no queda gestante se debe a que el servicio no se dio en el día correcto. Por lo tanto es necesario hacer uso de técnicas que permitan conocer con más exactitud el inicio del estro, como sería el análisis de la citología vaginal exfoliativa y la determinación de los niveles hormonales por radioinmunoensayo (RIA) o enzimoimmunoensayo (ELISA).

Es necesario enfatizar que no todas las secreciones sanguinolentas son indicativas de proestro o estro. Tampoco el hecho de que la hembra atraiga al macho significa que esté ciclando. La citología vaginal exfoliativa es muy útil para determinar cuándo estos signos no corresponden a un estro normal, ya que las secreciones sanguinolentas también ocurren cuando existe un tumor venéreo transmisible (TVT), cistitis, úlceras vaginales, piómetra, metritis, ovarios quísticos, subinvolución de sitios placentarios o desprendimiento de placenta durante la gestación.

26.2.6. Citología vaginal exfoliativa

En la perra, el estudio de la citología vaginal exfoliativa es una herramienta valiosa para determinar las diferentes fases del ciclo.

La citología vaginal exfoliativa se basa en el hecho de que al aproximarse el celo en la perra, aumenta el número de capas del epitelio vaginal y se acelera el proceso de descamación de las mismas. Este proceso parece ser un mecanismo de protección de la vagina durante el coito y se debe al incremento de estrógenos producidos por el crecimiento folicular.

Las figuras 26.8 a 26.11 muestran cómo se toman y procesan las muestras.

La figura 26.12 muestra el engrosamiento de la mucosa vaginal. Es importante señalar que el paso de los eritrocitos a través de la membrana basal y todas las capas celulares es perfectamente normal durante el estro, no así el de los neutrófilos, los que no deberán encontrarse en la vagina en la etapa del estro, ya que no pueden atravesar este número de capas. Su presencia puede ser un indicio de un problema infeccioso. La figura 26.13 muestra la mucosa vaginal normal de una hembra en anestro.

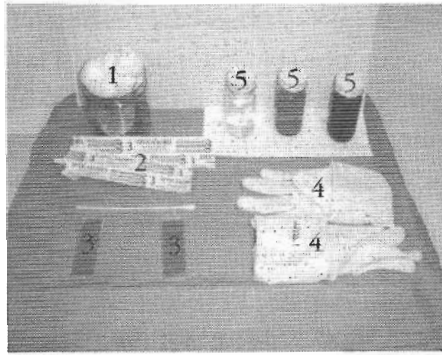


Figura 26.8. Material para citología vaginal exfoliativa: 1. Algodón para limpiar. 2. Hisopos. 3. Laminillas. 4. Guantes. 5. Tinción Diff Quick

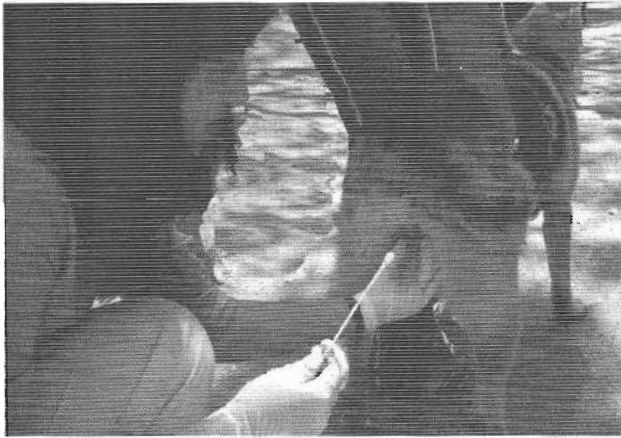


Figura 26.9. Introducción del hisopo en la vagina de la perra



Figura 26.10. Preparación del frotis; se realizan tres líneas sobre la laminilla

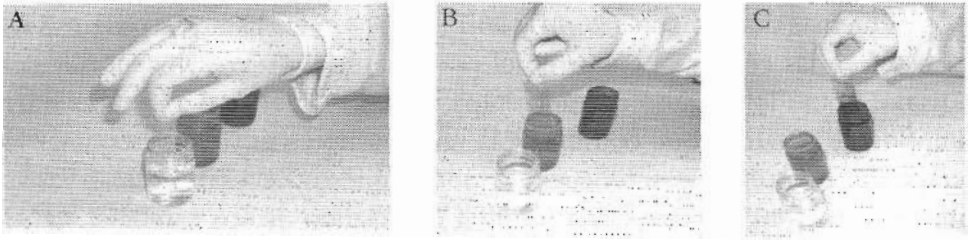


Figura 26.11. Tinción del frotis con Diff Quick. A: fijación; B: primera tinción; C: segunda tinción

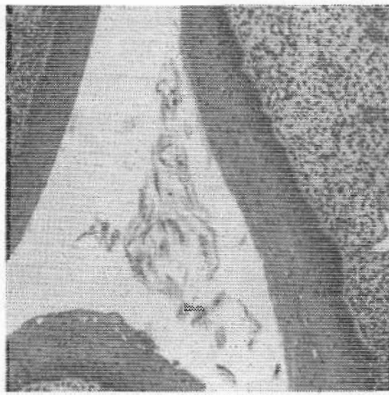


Figura 26.12. Mucosa engrosada de estro. Foto cortesía del MVZ Héctor Villaseñor Gaona, Departamento de Morfología, FMVZ-UNAM



Figura 26.13. Mucosa vaginal normal en anestro. Foto cortesía del MVZ Héctor Villaseñor Gaona, Departamento de Morfología, FMVZ-UNAM

Los esquemas de las figuras 26.14 y 26.15 muestran los cambios progresivos que sufren las células al entrar en el periodo fértil y regresivos al salir del mismo. Como la longitud de cada etapa varía de un animal a otro, es muy importante enfatizar que con una sola muestra no es posible determinar la etapa del ciclo en que se encuentra, por lo que es necesario tomar varias muestras en forma secuencial a fin de ir apreciando dichos cambios.

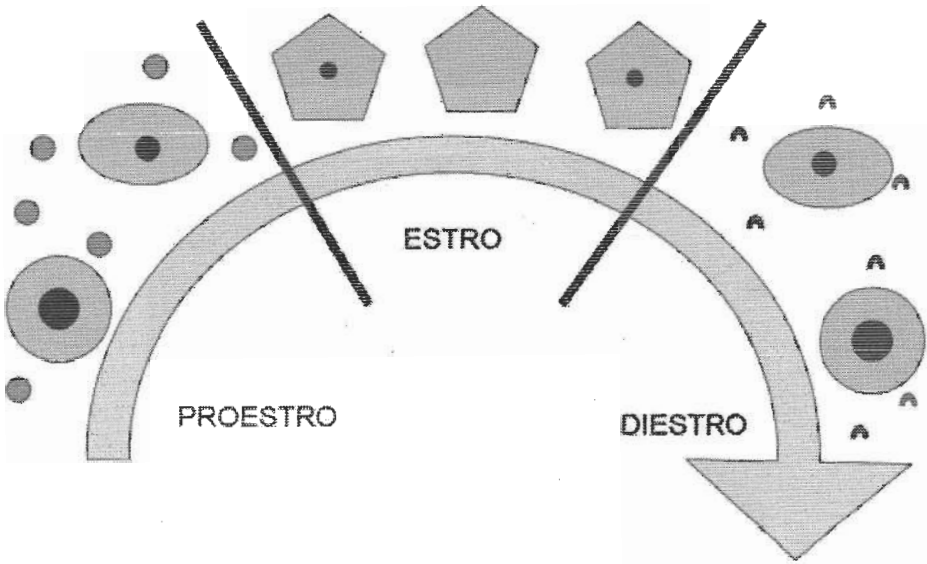


Figura 26.14

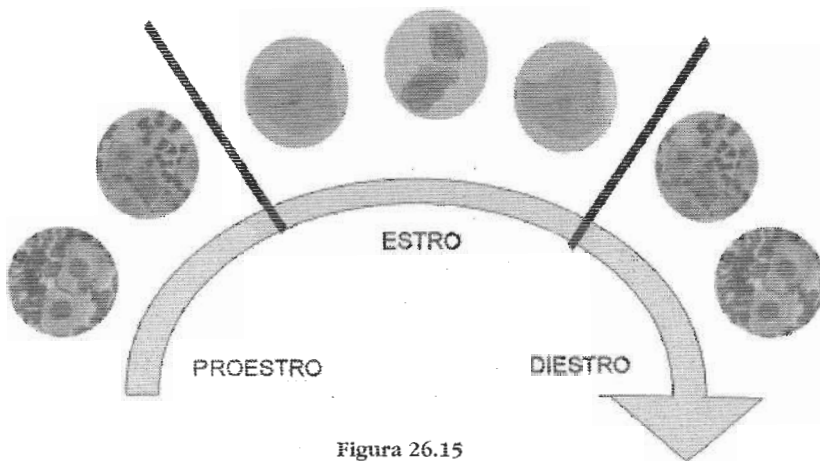


Figura 26.15

Esquemas de los cambios progresivos que sufren las células del epitelio vaginal durante el ciclo estral

26.2.7. Inseminación artificial

La utilización de técnicas como la evaluación de la citología vaginal exfoliativa, la evaluación del macho y del eyaculado y la inseminación artificial, seguidas del diagnóstico de gestación por ultrasonido, permiten mejorar el manejo reproductivo en esta especie y, por lo tanto, optimizar su reproducción.

En el canino, la inseminación artificial se realiza cuando los animales no pueden cruzarse en forma normal ya sea por problemas de comportamiento o anatómicos, estos últimos pueden ser los propios de la raza, o adquiridos.

La inseminación artificial consiste en depositar el semen en la parte craneal de la vagina. El material que se utiliza para inseminar consiste en una jeringa sin émbolo, a la cual se le adapta por medio de un pequeño tramo de manguera de látex una pipeta de inseminación (de las utilizadas en bovinos), partida a la mitad (figura 26.16). Se introduce la pipeta de igual forma que el hisopo para tomar la citología vaginal.

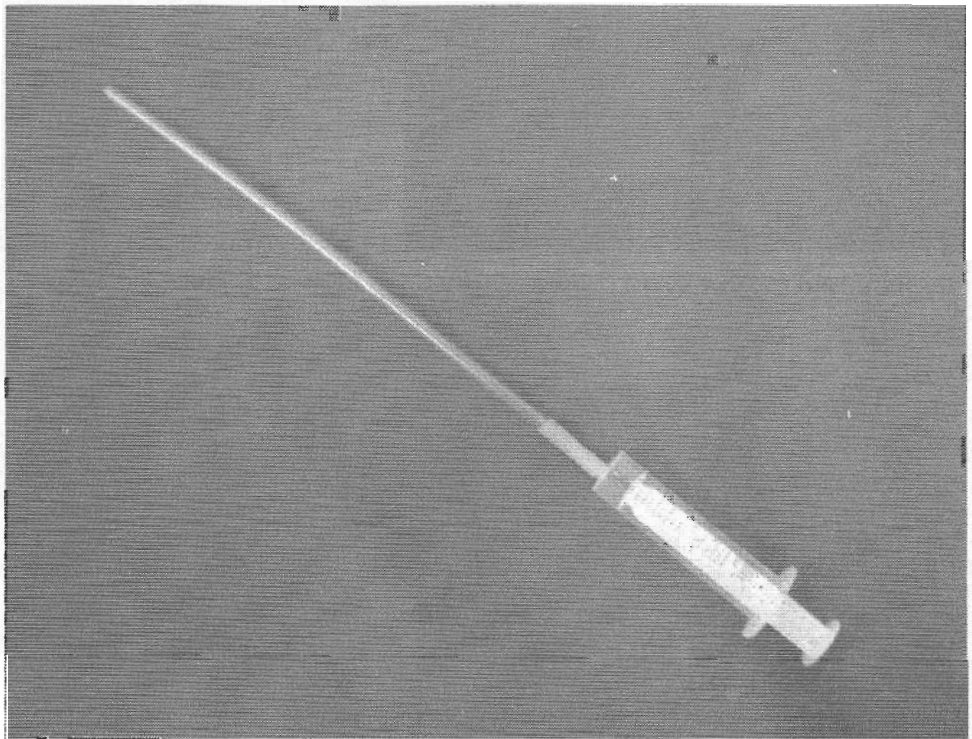


Figura 26.16. Material para inseminar

26.2.8. Problemas de comportamiento

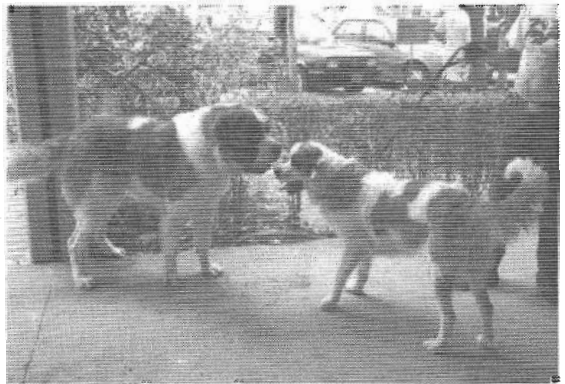
- Por agresividad, tanto del macho como de la hembra.
- Por no haber aceptación de la pareja. Puede haber cierta preferencia o selección de animales entre sí.
- Ciertas perras sobreprotegidas por los dueños reaccionan con miedo ante el semental.

26.2.8.1. Anatómicos:

- *Raza*. Algunos machos Bulldog, Basset Hound o Dachshund tienen problemas para sostenerse bien sobre la hembra.
- *Tamaño*. Cuando las hembras son más altas que los machos, o los sementales son demasiado pesados para que los sostenga la hembra (figuras 26.17a y b).



a)



b)

Figura 26.17. Algunas razones por las que se realiza inseminación artificial. a) Utilización de potro de monta por miembros cortos del macho que dificultan su sujeción sobre la perra. b) Cuando el semental es demasiado grande o pesado y la perra se sienta porque no lo puede sostener

- *Adquiridos*. Perros viejos con artritis o algún problema de articulaciones o extremidades, o que hayan sufrido algún accidente que impida que lleven a cabo la monta.

26.2.9. Gestación

Una vez que los ovocitos han sido fecundados, los cigotos son transportados a través del oviducto durante 4 a 10 días después del coito y entran al útero en etapa de mórula (16 células) o blastocito. La implantación empieza 17 a 18 días después del coito y se caracteriza por áreas de edema local del endometrio. No existe correlación entre el número de cuerpos lúteos y el número de fetos del cuerno uterino correspondiente, lo que sugiere una migración embrionaria transuterina que asegura una distribución adecuada de los embriones en cada cuerno.

La duración de la gestación en la perra es de 63 ± 5 días; este periodo se puede medir de acuerdo con los siguientes eventos: 65 días postpico de LH, 63 días postovulación, o 57 días postinicio del diestro citológico.

La progesterona que secretan los cuerpos lúteos es necesaria para mantener la gestación, y la ovariectomía realizada en cualquier momento de la gestación produce la pérdida de la misma, ya que la placenta únicamente produce pequeñas cantidades que no son suficientes para su mantenimiento.

El tamaño de la camada varía mucho: las razas de talla grande tienen entre 8 a 12 cachorros y las pequeñas solamente de 1 a 3.

La placenta de la perra es zonal, endotelio corial (4 capas histológicas), central (figuras 26.18 a 26.20).



Figura 26.18. Placenta zonal

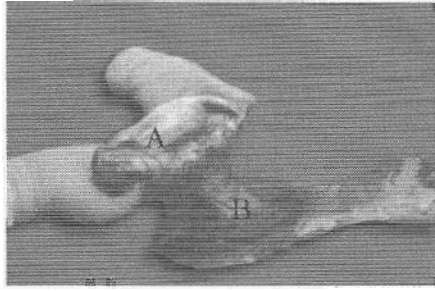


Figura 26.19. A: feto envuelto en el amnios; B: membrana alantocoriónica

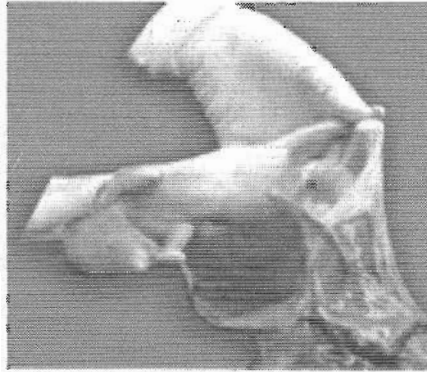


Figura 26.20. Feto unido a la placenta por el cordón umbilical

26.2.9.1. Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación en la perra se puede efectuar por palpación del abdomen entre 20 y 28 días después del servicio, para lo cual el abdomen de la perra se fija con las manos, como si se tratara de un balón de fútbol y se aplica una presión suave y continua hacia arriba, en dirección a la región lumbar, con lo que se permite el deslizamiento de las vísceras; con un poco de práctica es posible localizar el útero y calcular el tiempo de la gestación.

En el día 20 postcoito el útero preñado contiene ensanchamientos esféricos de 10 a 15 mm de diámetro y hacia el día 28 cambia a una forma ovoide de 15 a 30 mm, dependiendo de la talla de la perra. Después del día 28 es muy difícil palpar el útero; los fetos tienen entonces una longitud de aproximadamente 15 mm, lo que causa distensiones más confluentes y flexibles del útero. No se han desarrollado pruebas biológicas o químicas para el diagnóstico de gestación en esta especie.

El ultrasonido permite efectuar el diagnóstico desde el día 29 de la gestación, aunque por el costo es más recomendable hacerlo a los 35 días después de la última monta o inseminación, con el fin de revisar al mismo tiempo el estado de salud del útero y determinar si la gestación es normal o si

se está desarrollando una seudogestación, o una piómetra. El ultrasonido permite además conocer si los fetos están vivos, mas no el número de cachorros, el tamaño de los mismos o las dimensiones e integridad de la pelvis.

Por lo anterior, es extremadamente importante verificar el estado gestacional por Rayos X a los 55-60 días de gestación, mediante dos radiografías, una en posición ventro dorsal y la otra en posición lateral izquierda o derecha. Esto permite evaluar el número de fetos, la viabilidad, el tamaño de los mismos, especialmente su diámetro craneal. Al mismo tiempo, se verifican las dimensiones de la abertura pélvica para asegurar que la cabeza de los fetos pueda pasar sin dificultad o en caso contrario programar la cesárea y prepararla con comodidad y sin emergencias de última hora. Cuando se conoce el número de cachorros se facilita la atención al parto, pues de otra manera se extiende el tiempo de espera de más productos cuando en realidad, el parto ya ha terminado.

26.2.9.2. Cálculo de la edad de la gestación y los días antes del parto

Estos cálculos son particularmente útiles para los casos en que se desconoce la fecha de la monta y, por lo mismo y más importante, la fecha aproximada del parto.

26.2.9.3. Cálculo para menos de 40 días de gestación, cuando únicamente se observa el saco gestacional

$$EG = (6 \times DSG) + 20$$

$$EG = \text{Edad gestacional} \pm 2 \text{ días}$$

$$DSG = \text{Diámetro del saco gestacional}$$

26.2.9.4. Cálculo para más de 40 días de gestación cuando el feto ya está osificado

$$EG = (15 \times DC) + 20$$

$$EG = (7 \times DCC) + 29$$

$$DC = \text{Diámetro del cráneo}$$

$$DCC = \text{Diámetro circunferencia corporal}$$

26.2.9.5. *Pseudogestación, pseudociesis, falsa preñez, galactorrea*

Este término se ha utilizado tanto para definir la fase lútea del ciclo en la hembra no gestante, como para describir un cuadro clínico que se presenta en ciertos animales durante esta fase del ciclo. Los signos de la pseudogestación pueden ser el crecimiento mamario, lactación, conducta maternal y formación del nido aproximadamente el día 60 después de la ovulación, existiendo variación individual en la presentación e intensidad de estos cambios.

No es una situación patológica, ya que se considera normal en la hembra entera. No hay evidencia aún de que esta situación predisponga a la presentación de piómetra o cualquier otra enfermedad uterina. Se supone que es un vestigio evolucionario que deriva del comportamiento de los lobos en vida silvestre, en los cuales únicamente la pareja alfa procrea una camada, mientras que las otras hembras desarrollan la pseudolactación, precisamente para ayudar a criar a esta camada única.

26.2.10. Parto

Comprende tres etapas en la mayoría de las especies:

- 1ª Preparación
- 2ª Expulsión de los cachorros
- 3ª Expulsión de las membranas placentarias

Sin embargo, en el caso de la perra se considera que la 2ª y la 3ª son en realidad una sola etapa, ya que por lo general los cachorros nacen envueltos en su placenta.

La inminencia del parto se indica por la actitud del animal de buscar un lugar tranquilo para preparar su cama o nido. Durante la primera fase ocurre la dilatación cervical. La perra se muestra nerviosa, presenta anorexia y respiración superficial. La duración de esta primera fase es variable, pero en general es de 6 a 12 horas y hasta de 36 en perras primerizas. La segunda fase se señala con el inicio de los esfuerzos expulsivos (contracciones abdominales). Posteriormente se sucede la ruptura de la membrana corioalantoidea, secreción verdosa (uteroverdina) y la expulsión de los fetos.

La expulsión del primer feto puede ocupar hasta una hora, o un poco más, aunque esto ocurre raramente en partos normales o eutócicos. La duración de la segunda etapa depende básicamente del número de crías. Existe un período de descanso entre la expulsión de dos productos, lo cual no debe confundirse con la inercia uterina.

26.2.11. Distocia

Distocia significa parto difícil. Es importante señalar que la perra es el animal doméstico en el cual la inercia uterina primaria, o sea falta de contracciones, se presenta con mayor frecuencia. Asimismo hay otro tipo de inercia llamada incompleta, en la cual nacen uno o dos cachorros y no más. Se menciona que la presentación posterior no se considera anormal.

Los siguientes signos son indicativos de dificultad al parto:

1. Salida de secreción verdosa (uteroverdina) por la vagina, que ocurre normalmente durante el parto. Indica que la placenta ya se separó del útero, pero si el feto no sale después, significa que hay problemas.
2. Contracciones débiles e irregulares.

Es importante evaluar si la perra es capaz de liberar oxitocina endógena, para lo cual se estimula el techo de la vagina, lo que desencadena contracciones que dirigen al feto hacia el canal obstétrico (“reflejo de Ferguson”).

La falta de respuesta significa que la hembra ya no es capaz de tener contracciones debido a cansancio o por inercia uterina incompleta o secundaria. En este caso lo indicado es llevar a cabo la cesárea. Es muy importante recalcar que la inercia puede ser hereditaria, por lo que es importante que al seleccionar hembras reproductoras se eliminen las hijas de las perras que han tenido este problema.

3. Contracciones fuertes sin presencia de producto

Aquí el problema puede deberse a que el feto esté mal posicionado, que sea demasiado grande, que tenga malformaciones, o que la pelvis sea demasiado estrecha.

26.2.11.1. Piómetra

También conocida como complejo hiperplasia quística endometrial-piómetra. La piómetra canina es una enfermedad de la perra adulta caracterizada por la inflamación del útero con acumulación de exudados, que ocurre en la fase lútea y que afecta a varios sistemas del organismo.

Se ha sugerido como causa predisponente, el alto nivel de progesterona que se presenta durante la fase lútea, el cual es igual tanto en animales sanos como en hembras con piómetra, por lo que se cree que el trastorno se debe más bien a una falla en el metabolismo de la progesterona en el útero u órgano efector, y específicamente, a un cambio en el número y afinidad de

los receptores endometriales a progesterona, o a estrógenos. Los estrógenos no inducen la presentación de esta enfermedad, pero intensifican la respuesta endometrial a la progesterona. La administración experimental de progesterona o de compuestos progestacionales en animales sanos, como es el caso de los compuestos utilizados para posponer el estro, provoca los signos clínicos y la patología de la piómetra.

La hiperplasia quística endometrial se produce como una respuesta exagerada del útero a la estimulación progestacional durante la fase lútea del ciclo, y esto se considera como el inicio de la piómetra. La infección bacteriana no es una condición inicial sino una complicación secundaria.

El tratamiento de la piómetra es quirúrgico y consiste en la ovariosterectomía; sin embargo, en las perras con estado general afectado es necesario establecer un tratamiento sintomático e intervenir cuando haya ocurrido su recuperación. En los animales valiosos destinados a la cría se han intentado gran variedad de tratamientos sintomáticos, con resultados variables.

26.2.12. Macho

La evaluación del macho es particularmente importante para aquellas especies en que el manejo reproductivo implica la monta directa, como es el caso de los perros, ya que la inseminación artificial con semen congelado aún no alcanza el grado tan avanzado de comercialización y utilización como en los bovinos.

Para evaluar adecuadamente al macho hay que conocer el patrón del comportamiento sexual que conduce al apareamiento. Cada una de las fases es importante, pues su ejecución va a ir acumulando estímulos para la siguiente:

Detectar	Penetrar
Dominar	Eyacular
Montar	Producir un eyaculado de buena
Desenvainar	calidad

Estas fases las puede llevar a cabo un individuo sano, con excelente condición física, en el que la vista y el olfato funcionen a la perfección, ya que por ejemplo un animal con anosmia no se estimulará adecuadamente.

Para poder determinar que el macho en cuestión es capaz de llevar a cabo estas actividades, se realizarán los siguientes exámenes: clínico general, de genitales, de la libido y del eyaculado.

26.2.13. Examen clínico general

Cuando los sementales son remitidos por el propietario debido a algún problema reproductivo, se requerirá llevar a cabo un examen clínico completo para determinar si el animal goza de salud y se encuentra en buena condición física. El perro deberá tener un peso adecuado a su raza, talla y edad, ya que si está muy gordo se cansará rápidamente. Si está bajo de peso, no tendrá energía para llevar a cabo el esfuerzo que significa la monta.

También es importante verificar que la función cardiaca y respiratoria sean normales, así como la integridad de los miembros locomotores, articulaciones y columna vertebral. Un animal que siente dolor al montar a la hembra va a perder el interés por hacerlo.

26.2.13.1. Examen de los órganos genitales

Escroto, testículos, epidídimo prepucio, pene, próstata.

- a) *Escroto*: se revisará que el escroto sea suave, no engrosado, que no estén los testículos adheridos al mismo, oprimiéndolos suavemente de manera que el testículo suba y al soltarlo baje sin ningún obstáculo. Los testículos que no tengan movilidad dentro del escroto pueden tener adherencias que impiden un control adecuado de la temperatura, lo que puede afectar su producción espermática.
- b) *Testículos*: tienen forma ovoide, en posición oblicua y con la cola del epidídimo hacia atrás. No se encuentran colocados uno al lado del otro, sino que uno de ellos puede situarse ligeramente más craneal. Deberán tener una consistencia firme y turgente (figura 26.21).

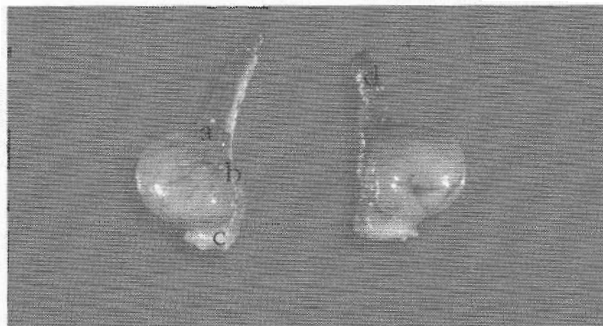


Figura 26.21. Testículos. a: cabeza del epidídimo; b: cuerpo; c: cola; d: plexo pampiniforme

- c) *Epidídimo*: se revisará el epidídimo en su trayecto para determinar que esté completo y que no le falte algún segmento, en forma especial la cola, la que deberá sentirse llena, lo que indica la capacidad de almacenamiento de espermatozoides (figura 26.21).
- d) *Prepucio*: el prepucio deberá cubrir por completo al pene; hay que revisar que no tenga laceraciones o erosiones y además que a través de su orificio se permita la salida y entrada del pene, es decir, que no exista fimosis o parafimosis. En ese sitio es normal observar una ligera secreción, resultado del proceso de renovación normal de la mucosa prepucial.
- e) *Pene*: el glande del pene abarca desde la punta de éste hasta el bulbo. En la recolección del semen es importante que se estimule en toda su longitud. Para revisarlo, se desenvainará el pene jalando el prepucio hacia atrás, para verificar que no haya obstáculos que impidan que desenvaine, así como tampoco lesiones o ulceraciones (figura 26.22).

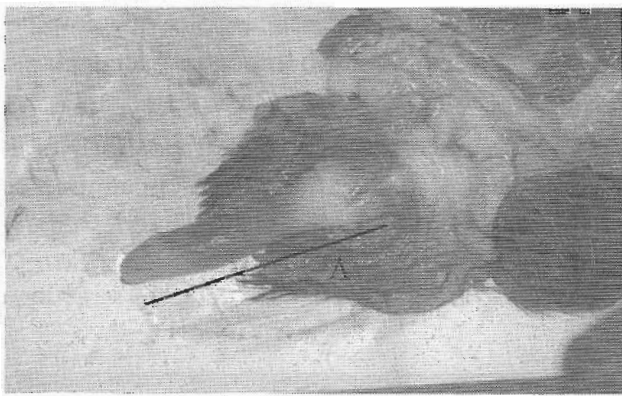


Figura 26.22. Pene (A: glande)

- e) *Próstata*: es la única glándula accesoria que posee el perro. Se encuentra rodeando el cuello de la vejiga, se localiza en el borde craneal de la pelvis, es redondeada, con un rafe medio que la divide en 2 lóbulos iguales. En la evaluación del semental deberá incluirse su revisión vía rectal. La asimetría de la glándula, dolor o consistencia anormal pueden indicar una disfunción y requerir una revisión más minuciosa de la glándula (figura 26.23).

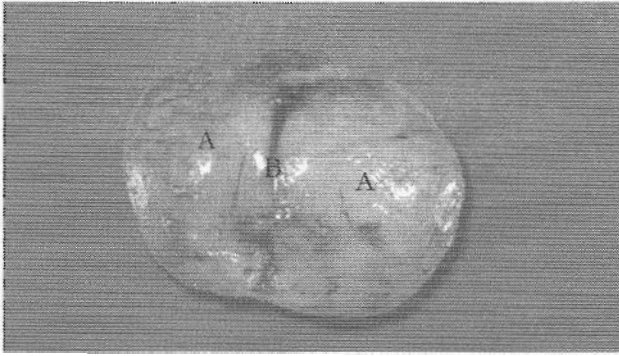


Figura 26.23. Próstata bilobulada. A: lóbulo; B: rafe medio

26.2.13.2. Examen de la libido

Las alteraciones de la libido en el macho deben considerarse principalmente como un problema de comportamiento y no necesariamente endócrino. La libido no sólo comprende el “deseo sexual”, sino desarrollar el patrón de comportamiento adecuado. Por lo tanto, se deberá revisar cada caso en particular, ya que en situaciones de comportamiento no se puede generalizar y lo que podría ser un buen manejo para un semental, podría no ser lo adecuado para otro.

En un semental que no está funcionando bien bajo cierta rutina, podría considerarse realizar un cambio que mejore su respuesta, ya que el aburrimiento, el cansancio, el estrés, la inexperiencia y la familiarización, son algunos factores que pueden alterar el comportamiento del macho.

Lo que está totalmente contraindicado es que se apliquen tratamientos hormonales para estimular a los animales, por lo general andrógenos, los cuales por retroalimentación negativa, pueden ocasionar daños a la espermatogénesis.

Para evaluar la libido del perro hay que presentarlo ante una perra en celo, que sea tranquila, dejar que socialice y ver que lleve a cabo la monta.

Aburrimiento: se presenta en sementales que se encuentren en confinamiento, faltos de ejercicio.

Cansancio: ocurre cuando se obliga al animal a dar demasiadas montas en un corto periodo; se recomienda un máximo de 3 montas por semana; si se tuviera que trabajar en más ocasiones, hay que proporcionarle descanso.

Estrés: es particularmente importante en el manejo de los perros a los que se transporta con frecuencia, que al llegar el animal a su destino, se le permita descansar antes de trabajar. Igualmente cuando se adquiere un animal ya adulto, deberá familiarizarse con el cambio de dieta, dueño, jaulas, temperatura y manejador.

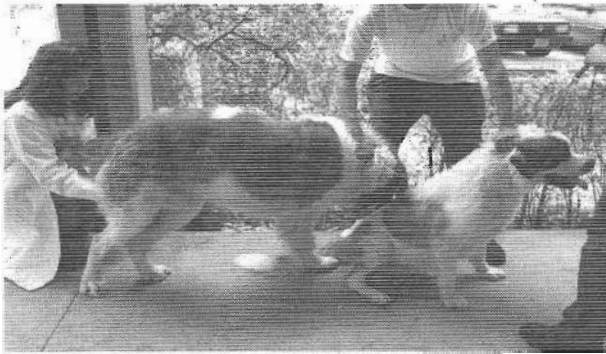
Maltrato: un semental que relacione la monta o la recolección de semen con maltrato o alguna experiencia negativa (dolorosa), puede rehusar la monta.

Inexperiencia: la conducta sexual tiene un componente genético y otro de aprendizaje, por lo que un animal joven sin experiencia deberá manejarse en forma tranquila y paciente hasta que aprenda a llevar a cabo la monta. También aprenden al ver montar a perros entrenados.

26.2.14. Recolección de semen

La recolección de semen en el perro se lleva a cabo por masturbación.

Primero se estimula el pene a todo lo largo, al mismo tiempo que se va desenvainando; una vez que el pene esté libre del prepucio, se rotará suavemente hacia atrás, estimulando continuamente detrás y encima del bulbo, hasta que tenga lugar la eyaculación. Cuando se utilice una perra en celo para estimular al macho, se permitirá que el perro monte y en el momento en que el perro desenvaine se desviará el pene hacia atrás con la mano



A: recolección de semen utilizando una perra para estimular al macho



B: recolección de semen utilizando un hisopo impregnado de secreción vaginal para estimular al macho



C: rotación de pene hacia atrás

Figura 26.24

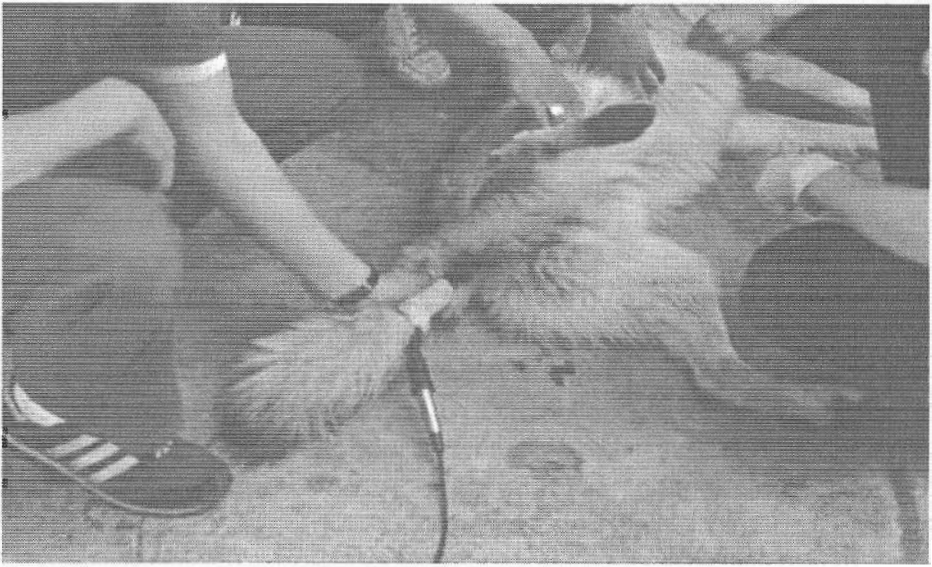


Figura 26.25. Electroeyaculación de un lobo mexicano

(figuras 26.24a, b y c).

La electroeyaculación se utiliza únicamente para investigación en caninos silvestres bajo anestesia general (figura 26.25).

El material más sencillo para recolectar el semen es un embudo, un tubo de ensayo y un guante para manipular el pene con la mano enguantada. El embudo de látex es de gran utilidad, ya que éste sujeta y oprime al pene del perro, logrando así dos objetivos, el que no se vaya a derramar el eyaculado al piso con cualquier movimiento del animal y el segundo es que la misma presión ayude a estimular la eyaculación (figura 26.26).

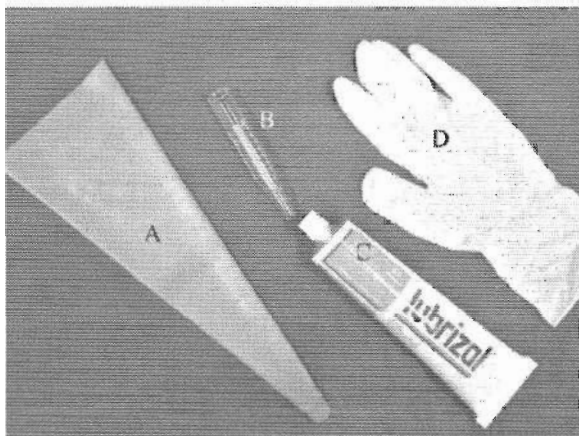


Figura 26.26. A: cono de látex; B: tubo graduado; C: lubricante; D: guante

26.2.15. Evaluación del semen

En el eyaculado se evalúa tanto sus características macroscópicas como microscópicas.

Características macroscópicas: volumen, color, olor y pH.

Microscópicas: motilidad, morfología y concentración.

El volumen es de 2 a 30 ml, dependiendo del tamaño del animal.

El eyaculado consta de tres fracciones:

La primera consiste en unas cuantas gotas, proviene de la próstata y es transparente; la segunda contiene los espermatozoides, su volumen es de 1 a 2 ml y el color es blanco lechoso, y la tercera es la más abundante, constituye la mayor parte del eyaculado, también proviene de la próstata y es transparente.

El eyaculado tiene un pH de 6.5 a 7, y los espermatozoides normales deberán tener un movimiento progresivo, con una concentración superior a 100 millones de espermatozoides/ml.

La morfología se evaluará haciendo un frotis de semen. Se coloca sobre un portaobjetos una gota de tinción de eosina-nigrosina y una gota del eyaculado; se revuelven, se dejan reposar un minuto y se hace un frotis. Éste se observará en el microscopio con aceite de inmersión para evaluar al menos 100 espermatozoides (figura 26.27).

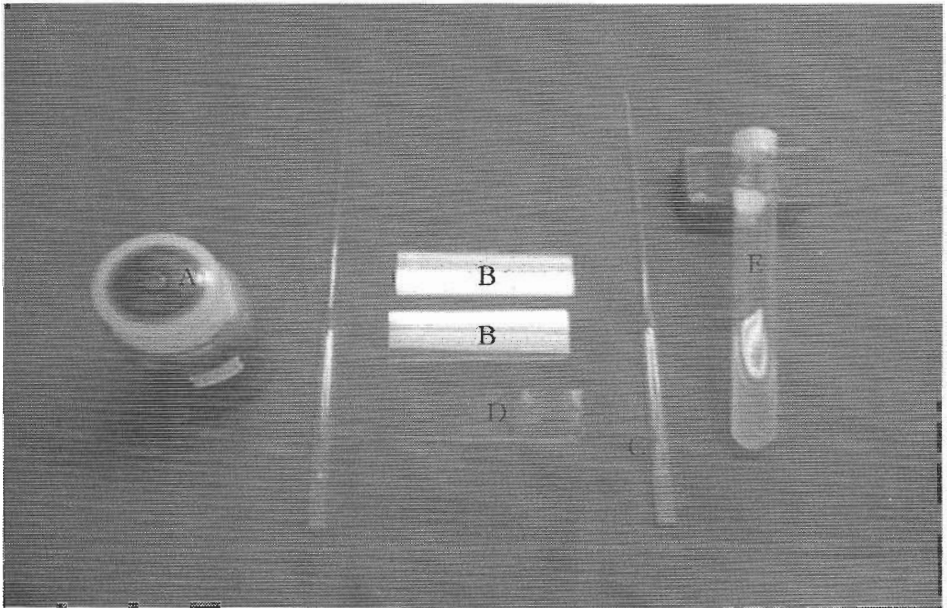


Figura 26.27. A: tinción eosina-nigrosina; B: laminillas; C: pipetas Pasteur; D: cubreobjetos; E: eyaculado

Las *anormalidades primarias* son las atribuibles a defectos producidos en el túbulo seminífero, independientemente de que sean a nivel de cabeza o cola, como serían: cabezas grandes, cabezas pequeñas, cabezas mal formadas y colas dobles.

Las *anormalidades secundarias* son las que se producen durante la maduración o el transporte a través del epidídimo, como serían colas y cabezas desprendidas, gota citoplasmática, colas dobladas, enrolladas o deshilachadas.

Los perros se deberán evaluar periódicamente, especialmente cuando se utilizan con mucha frecuencia. También cuando se adquieran ya adultos con el fin de determinar su potencial como reproductor lo más pronto posible. Si se adquirieron como cachorros, la evaluación se hará al llegar a la pubertad. Igualmente cuando hayan ocurrido varias montas infértiles.

Es recomendable que cuando se contrate un semental para dar servicio a una perra, se estipule que deba realizar un mínimo de 3 montas y, de ser posible, que aun cuando los animales se hayan cruzado sin problemas, al menos el primer servicio sea por IA, permitiendo evaluar el semen del perro, ya que la calidad del eyaculado no siempre es la misma.

26.3. LITERATURA RECOMENDADA

- Benítez, G.M.P. 1998. *Vasectomía química en perros con Neutersol*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Christiansen, I.J. 1984. *Reproduction in the dog and cat*. Bailliere Tindall, Londres.
- Concannon, P.W. 1993. *Biology of gonadotrophin secretion in adult and prepubertal female dogs*. J Reprod Fertil 3-27.
- Esquivel, L. 1995. *Estacionalidad reproductiva de la perra callejera en la Ciudad de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Feldman, E.C., Nelson, R.W. 1987. *Canine and feline endocrinology and reproduction*. W.B. Saunders Co. London.
- Feldman, E.C., Nelson, R.W. 2000. *Endocrinología y reproducción*. Mc Graw-Hill Interamericana, 2a ed. México.
- Garza, M.V. 1996. *Control farmacológico del ciclo reproductivo de la perra*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Johnston, S.D., Root-Kustritz, M.V., Olson, P.N.S. 2001. *Canine and feline Theriogenology*. W.B. Saunders Co., Nueva York.

27. FELINOS

ROSA MARÍA PÁRAMO RAMÍREZ

- 27.1. INTRODUCCIÓN
- 27.2. ANATOMÍA DE LA HEMBRA
- 27.3. PUBERTAD
- 27.4. CICLO ESTRAL
- 27.5. GESTACIÓN
- 27.6. PARTO
- 27.7. MACHO
- 27.8. LITERATURA RECOMENDADA

27.1. INTRODUCCIÓN

Debido a que la especie felina es estacional, tanto la pubertad como su ciclicidad están reguladas directamente por factores ambientales como el fotoperiodo, así como por la situación geográfica donde se desarrollen los animales. Otro factor muy importante que también influye sobre la actividad reproductiva en esta especie es la longitud del pelo, ya que todo indica que las gatas de pelo largo son más sensibles a la cantidad de luz que reciban, lo que influye tanto en la presentación de la pubertad como en la frecuencia de presentación del celo.

27.2. ANATOMÍA DE LA HEMBRA

La anatomía de la gata es muy parecida a la de la perra. Los ovarios son de forma oval y miden aproximadamente $1.0 \times 0.3 \times 0.5$ cm, con un peso aproximado de 220 mg y cubiertos parcialmente por la bolsa ovárica, a diferencia de la perra, en la cual la bolsa ovárica cubre totalmente los ovarios. Los oviductos o trompas de Falopio tienen una longitud de 5 a 6 cm, los cuernos uterinos miden de 9 a 10 cm de largo y su diámetro es de 3 a 4 mm, y el útero mide 2 cm. Por lo tanto, por ser más largos los cuernos que el

cuerpo, a este útero se le considera bicórneo de fusión baja. La vagina y el vestíbulo miden aproximadamente 2 cm de largo.

27.3. PUBERTAD

Por lo general, la pubertad en las gatas se presenta entre los 4 y 12 meses de edad. La variación se debe a la situación geográfica donde se encuentre el animal, al fotoperiodo y a la condición física de la gata, así como a la estación en que hayan nacido, ya que se ha observado que las hembras que nacen al inicio del año retrasan su madurez hasta el año siguiente, mientras que las nacidas en verano u otoño presentan su primer estro en enero del año siguiente.

Un factor muy importante para que la pubertad se inicie es que alcancen el peso normal que corresponda a su raza, que fluctúa entre 2.3 y 2.5 kg aproximadamente, y una edad de 20 a 28 semanas. En general, las razas de pelo largo, como la Persa, tardan más en alcanzar la pubertad, en comparación con las de pelo corto, en las que su primer estro se presenta entre los 4 y 12 meses. Las gatas sanas pueden seguir reproduciéndose más allá de los 14 años de edad.

27.4. CICLO ESTRAL

En cuanto al ciclo estral, la gata se clasifica como poliéstrica estacional, con ovulación inducida. Sin embargo, en muchas hembras la ovulación puede ser espontánea, especialmente en hembras viejas, lo cual puede deberse a estímulos visuales u olfatorios, sin necesidad de haberse llevado a cabo la cópula.

Los ciclos pueden presentarse cada 4 a 30 días, dependiendo de la situación geográfica en donde se encuentren los animales, así como de la cantidad de luz a la que se encuentren sometidos, siendo necesarias 14 horas diarias de luz para presentarse el estro, mientras que el anestro se presenta en las épocas del año durante las cuales las horas luz son de menor duración. Como se mencionó anteriormente, la longitud del pelo también influye en la frecuencia de la presentación de estros, ya que en las gatas de pelo largo únicamente 10% presentan celos regulares durante la época reproductiva, comparado con el 60% de las de pelo corto; en general, 50% de estas últimas tienden a ciclar todo el año.

27.4.1. Etapas del ciclo estral

27.4.1.1. Proestro

Duración de esta etapa: 1-2 días. Signos: en algunas gatas hay secreción vulvar ligera de consistencia mucosa, se incrementa la frecuencia de micción,

se comportan en forma amistosa, ya que frotran su cuello y cabeza contra las piernas de las personas, o cualquier otro objeto. Atraen al macho pero no lo aceptan. Como estos signos no son muy evidentes, parecería que la presentación del estro es abrupta y que pasa del anestro inmediatamente al estro.

Los niveles basales de estrógenos son de menos de 15 pg/ml, pero en esta etapa empiezan a ascender.

27.4.1.2. Estro

Duración: 2-19 días. Signos: se caracteriza por ser la etapa receptiva al macho, maullan frecuentemente para llamarlo, hay inquietud, anorexia. Al no haber macho presente, sufren lordosis, que consiste en arrastrarse sobre el vientre, elevar el tren posterior, rotán sobre sí y desvian su cola. No hay sangrado vulvar.

Cuando ocurre la cópula, el macho muerde el cuello de la hembra para sostenerse; ella eleva su tren posterior hacia el macho; éste la penetra y eyacula; al desmontar, la hembra maulla, se rueda, estira y asea el área genital, y no permite una nueva monta en algunas ocasiones hasta por 5 horas, llegando a presentar lo que algunos autores denominan "furia post-coital", ya que la gata ataca al macho en ese lapso. Algunos criadores consideran que si este comportamiento agresivo no ocurre, es un indicio de que la monta fue estéril (figura 27.1).

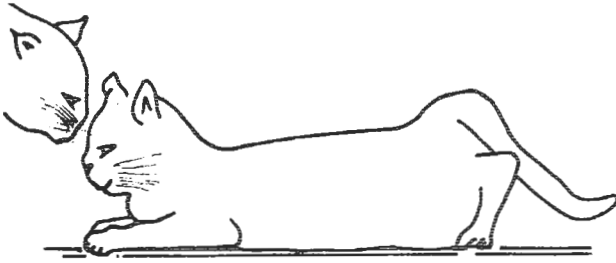
El periodo de receptividad puede llegar hasta las 36 horas, durante el cual puede haber de 20 a 36 montas. En algunas gatas el periodo de estro puede ser más prolongado, probablemente ocasionado porque a veces varias oleadas foliculares se sobreponen generando altos niveles de estrógenos. Esta condición no ha sido bien estudiada y en algunos casos se han encontrado quistes foliculares que la explicarían.

En esta etapa folicular los niveles de estrógenos son mayores a 20 pg/ml.

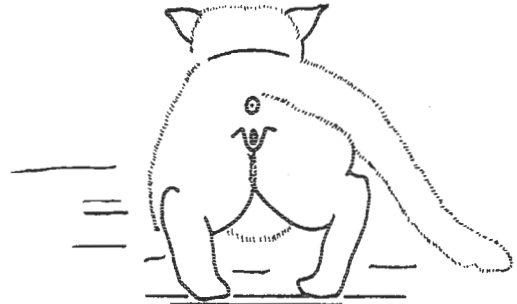
27.4.1.3. Postestro

Duración aproximada: 8-10 días. Se aplica al periodo interestro (algunos autores se refieren a este periodo como interestro, no postestro) que ocurre entre el final de un estro anovulatorio y la presentación del siguiente; no se aplica el término metaestro por no haber cuerpo lúteo. Pero en las hembras que sí ovulan, hay desarrollo lúteo aun antes de la ovulación.

En esta etapa los niveles estrogénicos son similares a los que se encuentran en el anestro, es decir, menores a 15 pg/ml.



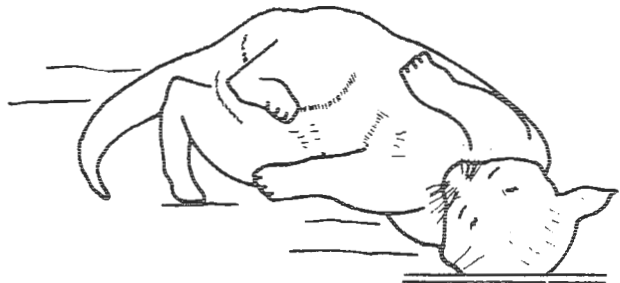
a) Postura adoptada por la hembra en celo hacia el macho.



b) Flexiona los miembros, se arrastra hacia el macho y mantiene la cola hacia un lado.



c) Al momento de la monta el macho sujeta con el hocico a la hembra por la parte posterior de la cabeza de ésta.



d) Posteriormente a la monta la hembra se rodará por el suelo.

Figura 27.1. Comportamiento sexual del felino. (Adaptado de Morrow, D. A., *Current Therapy in Theriogenology Philadelphia, Saunders, W. B. C. Co., 1980.*)

27.4.1.4. *Diestro*

Duración: en hembras pseudogestantes (ovulación sin fertilización) aproximadamente 40 días. En hembras gestantes más o menos 60 días. Es la etapa que se presenta después de un estro ovulatorio, y por lo tanto con cuerpo lúteo.

Las concentraciones séricas de progesterona varían de 1.5 hasta 20 ng/ml. Al final de esta etapa las concentraciones son menores de 1.5 ng/ml.

27.4.1.5. *Anestro*

Duración: de 30 a 90 días. Etapa de ausencia de actividad reproductiva que se presenta durante el otoño en el hemisferio norte (durante los meses de octubre a diciembre). Los estrógenos se encuentran en niveles basales de 15 pg/ml.

27.5. GESTACIÓN

La ovulación ocurre a las 24-36 horas aproximadamente postcoito; los óvulos son fecundados en el oviducto y a los 4 días bajan al útero; la implantación se lleva a cabo a los 12-13 días postovulación.

Una gata puede cruzarse con más de un macho; en este caso ocurre la superfecundación, en donde una sola camada puede tener varios padres. El tamaño de la camada puede ser desde uno hasta trece gatitos, con un promedio de 3.3 a 5. Su placenta es endoteliochorial y zonal.

Los niveles de progesterona se elevan a más de 2 ng/ml en los 2 días postovulación o 2 a 3 días postcoito, presentando un pico de 15-30 mg a los 25-30 días de gestación. El mantenimiento de la gestación depende de la progesterona del cuerpo lúteo, ya que la que produce la placenta no es suficiente. Los estrógenos, a partir de los 5 días postcoito se mantienen a niveles basales de 8-12 pg/ml durante los 58-62 días de la gestación, incrementándose ligeramente al final y volviendo a bajar cuando el parto ya es inminente. Algunas hembras pueden ciclar durante la gestación y la lactación.

La longitud de la gestación es aproximadamente de 52-74 días a partir de la primera o última cruza, respectivamente, tomándose como promedio 65 días. Durante las 3 primeras semanas de la gestación la gata no manifiesta cambios notables; al final de esta etapa los pezones adquieren un color rosado y empiezan a perder pelo alrededor de los mismos, lo que hace que se vean más prominentes.

Es muy importante que se cuide la nutrición de la hembra proporcionándole cantidades pequeñas pero frecuentes de alimento de alta calidad, ya

que hay que tomar en cuenta que su capacidad estomacal está reducida por la gestación. Su apetito se incrementa de 25 a 30%. El alimento puede ser dieta comercial de gatitos o de crecimiento durante las últimas dos o tres semanas de la gestación; es preciso destacar que dársela desde el inicio de la gestación puede ocasionar aumento de peso no deseable y ocasionarle problemas digestivos. Sin embargo, si la hembra no tiene una condición física muy buena, sí se puede hacer este cambio de alimentación desde el principio.

El diagnóstico de gestación por ultrasonido se puede hacer a los 21-25 días postmonta.

Hay una fórmula para calcular la edad a la gestación por ultrasonido, y es especialmente útil cuando no se tiene idea de cuándo se cruzó el animal. Cabe mencionar que en la gata únicamente se puede hacer este cálculo en gestaciones de más de 40 días, mientras que en la perra se puede hacer desde los 25 días.

$$EG = \text{edad de gestación} \pm 2 \text{ días}$$

$$EG = 25 \times DC + 3$$

o

$$EG = 11 \times DCC + 21$$

DC = diámetro craneal

DCC = Diámetro de la circunferencia corporal

27.5.1. Pseudogestación

A diferencia de la perra, en la gata es una condición relativamente rara. Puede presentarse después de montas estériles; la incidencia y la severidad de los signos no son tan serias como en las perras, y consiste principalmente en anidación y producción de leche.

27.6. PARTO

Etapa I, preparación; duración: de 2 o 3 hasta 24 horas; puede pasar desapercibida. El cérvix se dilata y el útero empieza a tener contracciones, pero éstas no se aprecian externamente; puede haber una descarga mucosa clara. Se encuentran inquietas, se asean en exceso, jadean, caminan mucho. Algunas pueden dejar de comer 24 horas antes, pero en algunos casos siguen comiendo hasta que se inicia la etapa II. Al final de esta etapa y cuando el parto ya se aproxima, ronronean, hacen nido y arañan su cama. Es muy

importante que la hembra se haya acostumbrado con antelación al sitio donde va a parir y que no se le cambie abruptamente, porque les causa mucha ansiedad, lo que puede ocasionar trastornos del parto; algunas hembras llegan hasta a comerse a sus gatitos. Ese sitio debe ser cálido y sin corrientes de aire, para proteger a los recién nacidos.

Etapa II, expulsión del cachorro; y etapa III, expulsión de la placenta, ocurren casi siempre juntas. Las contracciones uterinas ya son fuertes; 30 minutos a una hora transcurren entre gatito y gatito; por lo general el total de la camada nace en el transcurso de 2 horas, pero en algunos casos se alarga hasta 24 horas.

27.7. MACHO

27.7.1. Pubertad

En el macho la pubertad se presenta al alcanzar los 3.5 kg de peso mínimo, lo que ocurre alrededor de las 20-36 semanas de edad y se caracteriza por la presencia de papilas cornificadas en la mucosa peneana, las cuales se desarrollan bajo la influencia de andrógenos ya presentes en esta etapa. La estacionalidad aparentemente no afecta tanto al macho, ya que puede gestar a las hembras en cualquier estación del año.

27.7.2. Anatomía

El pene del gato es corto, penduloso, vascular y tiene hueso peneano; el glánde está rodeado de aproximadamente 100 a 200 papilas cornificadas, muy parecidas a las de la lengua. La próstata está formada por cuatro lóbulos esféricos y aplanados, dos craneales y dos caudales. Tiene dos glándulas bulbouretrales o de Cowper localizadas dorsolateralmente al bulbo peneano y que desembocan en la uretra, en la base del pene; carece de vesículas seminales (figura 27.2). Los testículos generalmente ya se encuentran en el escroto al nacimiento.

Los gatos se pueden entrenar para recolección de semen, lo que puede hacerse por medio de vagina artificial o con electroeyaculador. El eyaculado del gato, cuando se obtiene en vagina artificial tiene un volumen de 0.02 a 0.12 ml, con una concentración normal de $0.15 \text{ a } 13.0 \times 10.6$ de espermatozoides. Se ha observado en el gato la eyaculación retrógrada como evento normal, posterior a la cópula, o sea que parte del semen se va hacia la vejiga.

Cuando el pene del macho penetra a la gata, le estimula la vagina anterior, ocasionando la liberación de LH aproximadamente 15 minutos después de cada monta; la ovulación ocurre de 24 a 36 horas postcoito. Pero

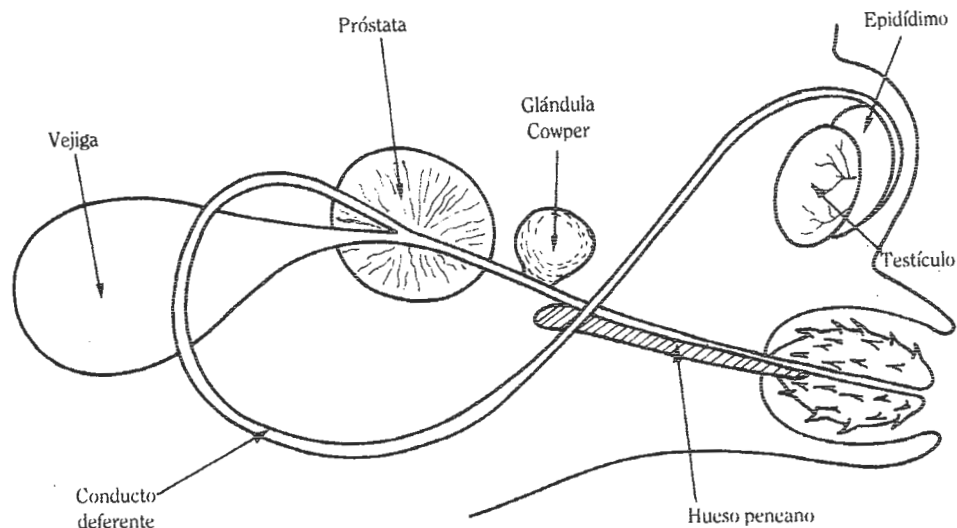


Figura 27.2. Órganos reproductivos del gato. (Adaptado de: Nalvandov, A. V. *Reproductive Physiology*, 2a. ed., San Francisco, W. H. Freeman and Co., 1964.)

es importante recalcar que los niveles máximos de LH se alcanzan después de 8 a 12 montas y únicamente 50% de gatas ovulan con una sola monta, la mayoría lo hace a la cuarta.

27.7.3. Esterilización

Es importante que todos los veterinarios estén conscientes del gran problema que constituye la sobrepoblación tanto canina como felina, de animales sin dueño, o con dueños irresponsables, y que deambulan por las calles, tanto en áreas urbanas como rurales.

Por lo tanto, es esencial comentar lo concerniente a la esterilización temprana tanto de machos como de hembras. La práctica de esterilizar a las mascotas hasta que llegasen a la pubertad, se hizo más por razones de costumbre que alguna evidencia médica que apoye dicha idea.

Una de las razones que pudieron apoyar esta práctica es que antiguamente los riesgos de la anestesia eran mayores, por lo que se recomendaba la intervención quirúrgica hasta que los animales llegaran a la edad adulta a fin de disminuir los riesgos durante la anestesia; sin embargo, éste ya no es el caso.

Muchos son los trabajos que se han hecho para demostrar que la mayoría de los problemas que se atribuyen a la esterilización, no se deben a la eliminación de las hormonas, sino a un mal manejo durante la cirugía o a

casos circunstanciales que no serían la mayoría. Asimismo, se ha encontrado que no hay alteraciones significativas tanto en lo físico o en el comportamiento de los animales esterilizados a las siete semanas de edad, comparándolos con los operados a los siete meses de edad.

27.8. LITERATURA RECOMENDADA

- Johnston, S.D., Kustritz-Root, M.V., Olson, P.N.S, 2001. *Canine and feline theriogenology*. W.B. Saunders Co.
- Feldman, E.C., Nelson, R.W. 1987. *Canine and feline endocrinology and reproduction*. W.B. Saunders Co.
- Christiansen, I.J., 1984. *Reproduction in the dog & cat*. Bailliere Tindall.
- Feldman, E.C., Nelson, R.W. 2000. *Endocrinología y reproducción en perros y gatos*. Segunda edición, McGraw-Hill Interamericana.
- Vella, C., McGonagle, J. 1997. *Breeding pedigreed cats*. Howell Book House.
- Little, S. 2002. *Feline reproduction*. Part one: The estrus cycle of the queen. The Cat Fanciers´Association. Inc. Available from:<http://www.fainc.org/health/reproduction.html>
- Little, S. 2002. *Feline reproduction*. Part Four: Normal pregnancy and delivery in the cat. The Cat Fanciers´Association.Inc.Available from:<http://www.fainc.org/health/reproduction.html>
- Fagella, A.M. "Anesthetic Considerations for pups and kittens In. The case for Early Neutering American Humane Association. Surgical Considerations for prepuberal gonadectomy in puppies and kittens." En: *The case for Early Neutering American Humane Association*.
- Salmeri, KR., Olson, PN., Bloomberg, MS. 1991. *Elective gonadectomy in dogs: A review*. J A Vet. Med. Assoc 198. 7, april 1, 1991.
- Salmeri, K.R., Bloomberg, MS., Scruggs, S.L., Shille, V. *Gonadectomy in immature dogs: Effects on skeletal, physical, and behavioral development*.

28. CAPRINOS

JOSÉ ALBERTO DELGADILLO

- 28.1. INTRODUCCIÓN
- 28.2. PUBERTAD Y ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DE LOS MACHOS CABRÍOS
- 28.3. INFLUENCIA DE LOS FACTORES MEDIOAMBIENTALES EN EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DEL MACHO CABRÍO
- 28.4. MÉTODOS PARA ESTIMULAR LA ACTIVIDAD SEXUAL DEL MACHO CABRÍO
- 28.5. PUBERTAD Y ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DE LAS HEMBRAS CAPRINAS
- 28.6. MÉTODOS PARA ESTIMULAR LA ACTIVIDAD SEXUAL DE LA CABRA
- 28.7. SINCRONIZACIÓN E INDUCCIÓN DEL ESTRO Y LA OVULACIÓN EN HEMBRAS ACÍCLICAS
- 28.8. TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DEL ESTRO
- 28.9. PRUEBAS DE GESTACIÓN
- 28.10. LITERATURA RECOMENDADA

28.1. INTRODUCCIÓN

Dado que los caprinos se encuentran en diferentes zonas ecológicas, esta especie ha desarrollado diferentes estrategias reproductivas para lograr una máxima sobrevivencia de las crías. Gracias a su rusticidad, tiene una gran importancia social y económica porque permite la producción animal en zonas donde otras especies no pueden sobrevivir. Los caprinos son utilizados principalmente para la producción de carne, sin embargo, en algunas regiones producen también leche, pelo y piel. Un incremento en la productividad de los caprinos se obtiene al mejorar sus índices reproductivos. Para ello es necesario conocer las estrategias reproductivas de los animales y la interacción que tienen los genotipos con su medio ambiente.

28.2. PUBERTAD Y ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DE LOS MACHOS CABRÍOS

28.2.1. Pubertad

En los machos cabríos, la pubertad o el inicio de la actividad sexual (completa separación del prepucio y el pene o la primera eyaculación) depende de la raza, la época de nacimiento y el régimen alimenticio. En buenas condiciones

de alimentación, la edad a la pubertad fluctúa entre 4 y 8 meses en las razas Alpina, Angora, Nubia, y en los machos Criollos del subtrópico mexicano. En cambio, en los machos de la raza Damascus, la pubertad inicia a los 17 meses de edad. En algunas razas, la estación del año puede modificar la edad de la primera eyaculación. En los machos Criollos de la Isla de Guadalupe en el Caribe, la primera eyaculación se observa en promedio a los 4.7 y 7.5 meses de edad para los animales nacidos en abril y agosto, respectivamente. La subalimentación y en consecuencia un lento crecimiento corporal, pueden modificar el inicio de la pubertad.

28.2.2. Actividad sexual anual

Los machos cabríos de las razas originarias de zonas templadas ($> 35^{\circ}$) muestran una marcada estacionalidad reproductiva. En algunas razas, como la Alpina y Saanen, la actividad sexual se presenta durante el otoño y el invierno, mientras que en otras, como la Murciano-Granadina, en verano y otoño. En los machos cabríos la producción de espermatozoides es continua, pero presenta modificaciones cuantitativas y cualitativas a través del año. Una disminución del rendimiento de la espermatogénesis durante la estación de reposo sexual provoca cambios en el peso testicular. En los machos Alpinos y Saanen, el peso de un testículo es de 150 g en otoño y 117 g en primavera. El volumen del eyaculado se incrementa durante la estación sexual, pero disminuye la concentración de espermatozoides. En consecuencia, el número total de espermatozoides por eyaculado (volumen \times concentración) varía de 2.8×10^9 en marzo a 4.6×10^9 en octubre. La calidad del semen determinada por el porcentaje de espermatozoides vivos y su motilidad progresiva, así como su fertilidad, se incrementa durante la estación de reproducción. La libido disminuye durante la primavera y el verano, y se incrementa durante el otoño e invierno (figura 28.1a). En las latitudes subtropicales ($25\text{-}35^{\circ}$) existen también diferencias raciales en la duración y la época del año en que ocurre la actividad sexual. Los machos de la raza Angora presentan una intensa actividad sexual en otoño. En cambio, los machos Cashmere en Australia (29°S) y los Criollos de la Comarca Lagunera (26°N), en el norte de México, manifiestan una moderada estacionalidad de su actividad sexual y producción espermática. En el norte de México, la estación sexual de los machos inicia en mayo y termina en diciembre. Durante este periodo, los valores registrados del peso testicular, del número total de espermatozoides por eyaculado, del porcentaje de espermatozoides vivos, de la motilidad progresiva de éstos, y de la libido, son más elevados que los registrados en otros meses del año (figura 28.1b). En las latitudes tropicales ($< 25^{\circ}$), la mayoría de los machos locales mantenidos en

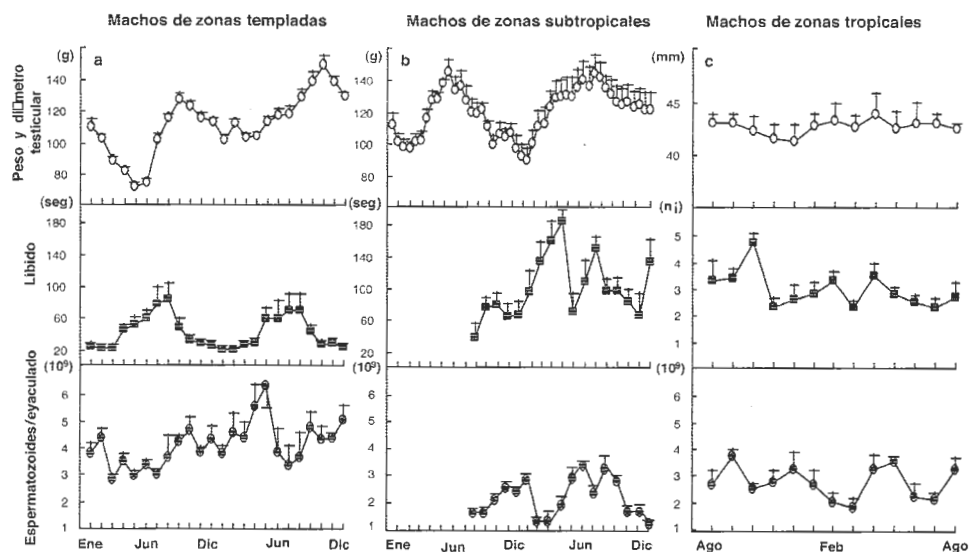


Figura 28.1. Evolución anual (promedio \pm SEM) del peso testicular, de la libido determinada por la latencia a la eyaculación y del número total de espermatozoides por eyaculado de los machos Alpinos y Saanen (a) y de los machos Criollos del subtropico mexicano (b); diámetro testicular, libido determinada por el número de montas en 25 minutos, y del número total de espermatozoides por eyaculado de los machos Criollos de la Isla de Guadalupe en el Caribe (c) (adaptado de Chemineau 1986; Delgadillo et al., 1991, 1999)

un óptimo régimen alimenticio no presentan variaciones estacionales del peso testicular, de la producción espermática cuantitativa y cualitativa, ni de la libido (figura 28.1c).

28.3. INFLUENCIA DE LOS FACTORES MEDIOAMBIENTALES EN EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DEL MACHO CABRÍO

28.3.1. Fotoperiodo

En los machos cabríos originarios de las zonas templadas, la estacionalidad reproductiva es controlada principalmente por el fotoperiodo. Bajo las variaciones naturales de la duración del día, la actividad sexual de los machos Alpinos y Saanen inicia durante los días decrecientes del otoño y termina durante los días crecientes de la primavera. En condiciones controladas en las que se manipula la duración del día, los días cortos estimulan la actividad sexual y los días largos la inhiben. En latitudes subtropicales, el ciclo anual de reproducción de algunas razas locales es también controlado por el fotoperiodo. Aunque en condiciones naturales la actividad sexual de los machos locales de la Comarca Lagunera inicia durante los días crecientes del año (mayo), en condiciones artificiales los días cortos estimulan la secreción de la testosterona

y los días largos la inhiben. El fotoperiodo controla la secreción de la melatonina, hormona que es secretada por la glándula pineal solamente durante la fase oscura. Durante los días cortos, la duración de secreción es más larga que durante los días largos. La melatonina estimula o inhibe la secreción de la GnRH, hormona responsable de la estimulación de las gónadas a través de la hormona luteinizante (LH) y la folículo estimulante (FSH). Sin embargo, ya que los animales poseen un ritmo endógeno de reproducción, no existe ninguna duración del día que tenga efectos estimulantes o inhibidores permanentes. El papel del fotoperiodo es sincronizar este ritmo de reproducción.

28.3.2. Nutrición

En las regiones subtropicales y tropicales, frecuentemente se ha señalado que la nutrición es el factor que controla la reproducción anual de los caprinos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la reproducción de algunas razas locales de las zonas subtropicales puede estar bajo el control de las variaciones fotoperiódicas. Estas razas son, como las de zonas templadas, estrictamente fotoperiódicas. En otras razas, aunque sensibles al fotoperiodo, la alimentación se ha convertido en el modulador principal del ciclo anual de reproducción. En los machos Cashmere, la subalimentación retrasa drásticamente el inicio de la actividad sexual anual disminuyendo la masa testicular, la producción espermática cuantitativa y cualitativa, y la libido, siendo esta raza fotoperiódica flexible.

28.3.3. Medio ambiente social

Las relaciones sociales entre machos y hembras tienen un papel importante en el inicio y mantenimiento de la actividad sexual. En los animales alojados en grupos unisexuales, un incremento en el tiempo para eyacular, y/o una completa inhibición de la libido pueden ser observados en algunos machos. Estos efectos negativos pueden ser evitados o disminuidos si los machos son puestos en grupos unisexuales a temprana edad (algunos días después del nacimiento), o si algunas hembras son incluidas cuando los machos son reunidos después de 4 meses de edad (1 hembra por 5 machos).

28.3.4. Altas temperaturas

Las altas temperaturas ambientales pueden disminuir la libido, la producción espermática e incrementar las anormalidades de los espermatozoides. Estos efectos pueden ser más marcados en las razas transferidas a los climas calientes y húmedos que en las razas locales. Sin embargo, en los machos locales de

Malasia expuestos directamente a los rayos solares, el número total de espermatozoides por eyaculado y el porcentaje de espermatozoides vivos son superiores en aquellos mantenidos bajo la sombra, que los que se encuentran en pastoreo durante 7 días sin ningún tipo de sombra.

28.4. MÉTODOS PARA ESTIMULAR LA ACTIVIDAD SEXUAL DEL MACHO CABRÍO

28.4.1. Tratamientos fotoperiódicos

En las razas caprinas en las que el ritmo anual de reproducción es controlado principalmente por el fotoperiodo, los tratamientos luminosos permiten estimular la actividad sexual de los machos cabríos durante el periodo de reposo. En los machos Alpinos y Saanen alojados en habitaciones que permiten controlar la duración del día, las alternancias entre 1 ó 2 meses de días largos (16 h de luz/día) y 1 ó 2 meses de días cortos (8 h de luz/día) desaparecen o atenúan la estacionalidad del peso testicular, de la producción espermática cuantitativa y cualitativa, y de la libido (figura 28.2). En los machos locales de la Comarca Lagunera, en el Norte de México, alojados en instalaciones

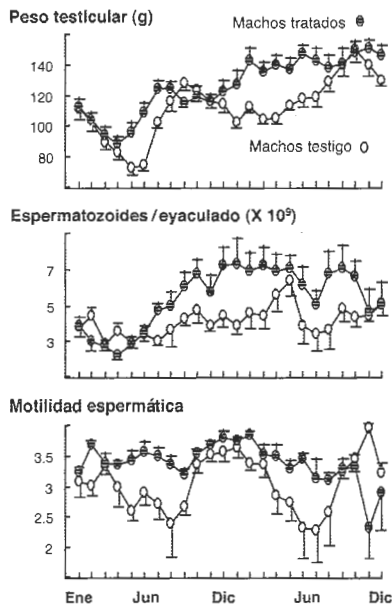


Figura 28.2. Evolución anual (promedio \pm SEM) del peso testicular, del número total de espermatozoides por eyaculado y de la motilidad progresiva de los espermatozoides de los machos Alpinos y Saanen. El grupo tratado fue sometido a cambios de 1 mes de días largos y 1 mes de días cortos durante 2 años consecutivos. Las variaciones estacionales del peso testicular y la producción espermática cuantitativa y cualitativa fueron disminuidas en los machos tratados (adaptado de Deigadillo et al., 1991, 1992)

Testosterona (ng/ml)

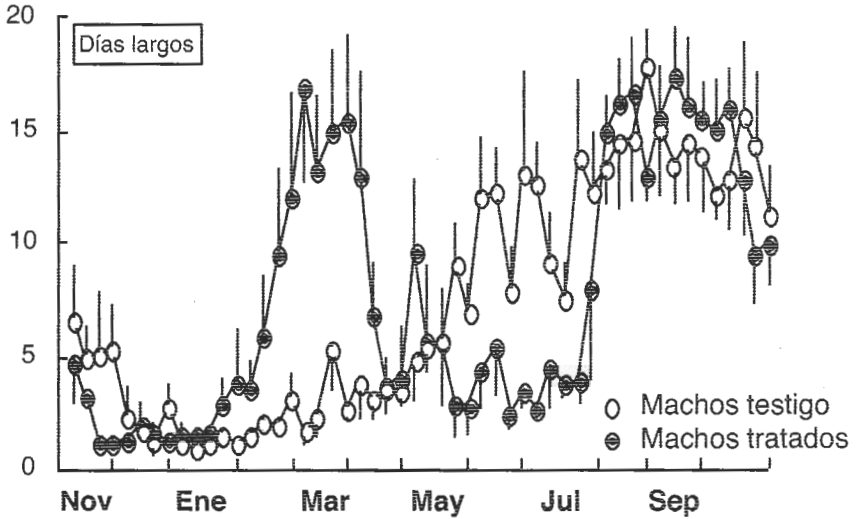


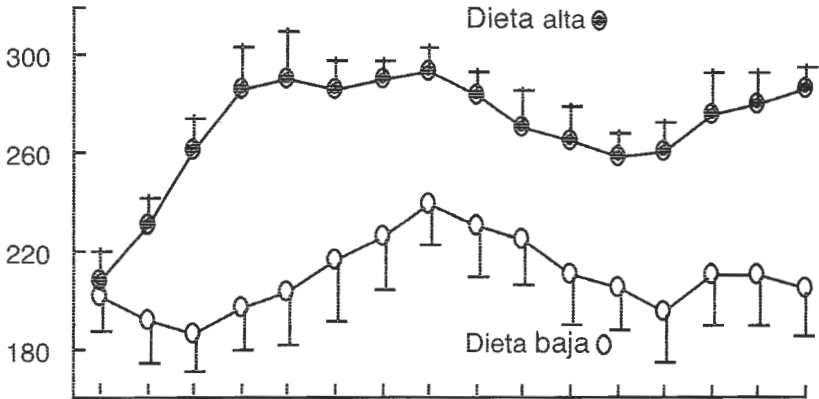
Figura 28.3. Evolución (promedio \pm SEM) de las concentraciones plasmáticas de testosterona de los machos cabríos Criollos del subtrópico mexicano sometidos a las variaciones naturales del fotoperíodo de la Comarca Lagunera (26°N) o a 2.5 meses de días largos a partir del 1 de noviembre. La secreción de testosterona se estimuló durante el periodo de reposo sexual en los machos tratados (adaptado de Delgadillo et al., 2002)

abiertas, una intensa actividad sexual puede inducirse al someterlos a 2.5 meses de días largos (16 h de luz/día) combinando la luz artificial y natural (alba: 6:00 h; crepúsculo: 22:00 h) a partir del 1 de noviembre. En los machos tratados de esta manera, los niveles plasmáticos de testosterona y la libido durante el periodo de reposo sexual, son superiores que en los machos no tratados (figura 28.3).

28.4.2. Nutrición

En las razas caprinas en las que el ritmo anual de reproducción es influenciado o controlado principalmente por la nutrición, las raciones alimenticias adecuadas permiten mantener o estimular la actividad sexual de los machos cabríos durante el periodo de reposo. En los machos Cashmere, una adecuada nutrición durante 6 semanas en el periodo de reposo, adelanta el inicio de la estación sexual, incrementando los niveles plasmáticos de testosterona, la masa testicular, la producción espermática y el comportamiento sexual (figura 28.4). En las razas originarias de las zonas tropicales, un buen régimen alimenticio permite a los machos manifestar un intenso comportamiento sexual y una buena producción espermática durante todo el año.

Masa testicular (g)



Testosterona (ng/ml)

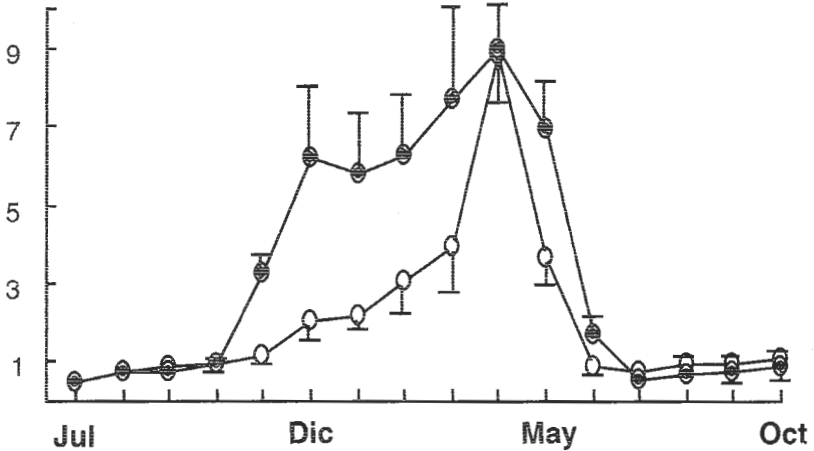


Figura 28.4. Evolución (promedio \pm SEM) de la masa testicular y testosterona de los machos cabríos Cashmere en Australia (29 °S) que recibieron una dieta de alta y baja calidad. La estación sexual inició primero en los machos bien alimentados que en los subalimentados (adaptado de Walkden-Brown et al., 1994)

28.5. PUBERTAD Y ACTIVIDAD SEXUAL ANUAL DE LAS HEMBRAS CAPRINAS

28.5.1. Pubertad

En las hembras caprinas, la edad a la pubertad (detección del primer estro u ovulación) es muy variable y depende de la raza, la época de nacimiento y el régimen alimenticio. En las razas originarias de zonas templadas, como la Alpina y Saanen, así como en las cabras locales de las zonas subtropicales y tropicales, la pubertad inicia entre los 8 y 14 meses de edad. En las cabras

Criollas de la Isla de Guadalupe en el Caribe, la edad promedio en que ocurre el primer estro es a los 5.7 meses, pero varía de 4.3 meses para las hembras nacidas en agosto a 6.8 meses para las nacidas en diciembre. En el norte de México, la detección de la primera ovulación en las hembras es a los 6.6 meses cuando nacen en mayo y a los 11.6 meses cuando nacen en octubre. En algunos casos la pubertad puede retrasarse debido a una mala alimentación de las hembras.

28.5.2. Actividad sexual anual

Las razas originarias de latitudes templadas ($> 35^\circ$) presentan una marcada estacionalidad de su actividad sexual. En las cabras Alpinas y Saanen, la actividad sexual determinada por los estros y las ovulaciones, inicia en septiembre y finaliza en febrero (figura 28.5a). En las cabras originarias o adaptadas a las regiones subtropicales ($25-35^\circ$), existen razas que también presentan una estacionalidad reproductiva. En las cabras locales del subtrópico mexicano, y en particular las de la Comarca Lagunera, la actividad de reproducción inicia en agosto y termina en febrero (figura 28.5b). En las regiones tropicales ($< 25^\circ$) se considera que los animales locales tienen el potencial de manifestar una actividad sexual durante todo el año si las condiciones alimenticias son satisfactorias (figura 28.5c). El ciclo anual de reproducción de las hembras es influenciado, como en los machos, por el medio ambiente.

28.5.3. Ciclo estral

El ciclo estral se refiere a todos los cambios hormonales, anatómicos y de comportamiento que suceden entre el inicio o el final de un celo y el inicio o el final de otro. En la cabra, este ciclo es en promedio de 21 días. El estro, periodo en el cual la hembra acepta ser montada por un macho, dura en promedio 24 horas (12-73 horas). La ovulación ocurre de 30 a 36 horas después de iniciado el estro. Después de la ovulación, las células de la granulosa se luteinizan formando el cuerpo lúteo, que secreta grandes cantidades de progesterona. Ésta es la fase de diestro. Alrededor de los días 16-17 del ciclo estral (día 0 = día del estro), las prostaglandinas uterinas provocan la destrucción del cuerpo lúteo, induciendo una reducción drástica de los niveles plasmáticos de progesterona. Inmediatamente después se incrementa la secreción de LH y FSH, provocando la maduración y el crecimiento de los folículos. Éstos secretan grandes cantidades de estradiol, provocando el estro, y por retroacción positiva, el pico preovulatorio de LH y la ovulación. La mayor cantidad de LH plasmática se detecta de 10 a 15 horas después de iniciado el estro, y la ovulación ocurre alrededor de 20 horas después del

Hembras cíclicas (%)

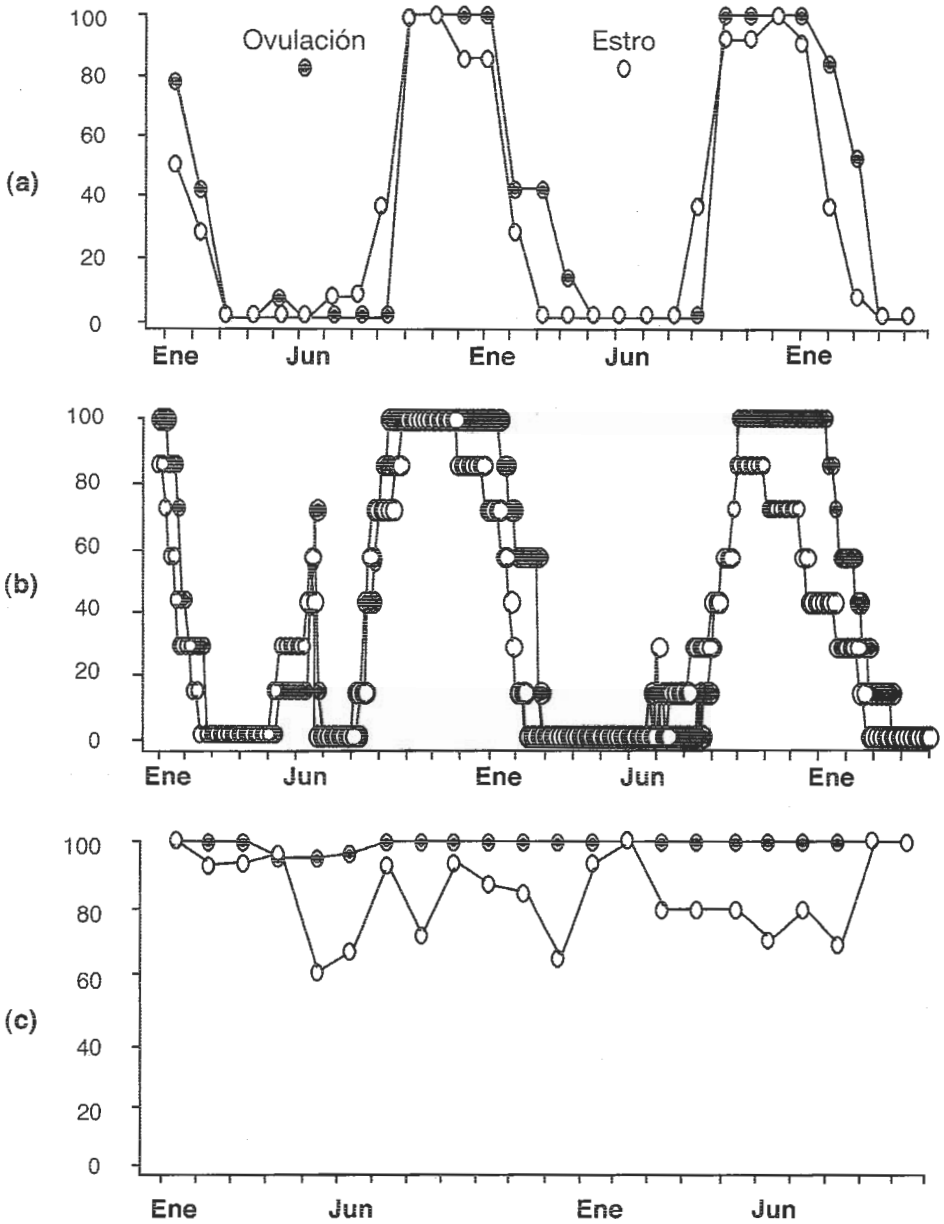


Figura 28.5. Variaciones del porcentaje de hembras cíclicas de las cabras Alpinas (a), de las Criollas del subtrópico mexicano (b), y de las Criollas de la Isla de Guadalupe en el Caribe (adaptado de Chemineau 1986; Chemineau et al., 1992; Duarte et al., 1999)

pico preovulatorio de LH. De acuerdo con su duración, los ciclos estrales son clasificados en normales (17-25 días), cortos (< 17 días) y largos (> 25 días). Los ciclos cortos ocurren generalmente al inicio de la estación sexual, de la pubertad y del reinicio de la actividad sexual postparto. En cambio, los ciclos largos se observan al final de la estación sexual. El inicio y el final de la estación sexual se caracterizan por la disociación entre el estro y la ovulación. Los estros sin ovulación ocurren generalmente al inicio de la estación sexual, de la pubertad, o después del periodo postparto. En cambio, las ovulaciones no acompañadas por estros son observadas normalmente al final de la estación de reproducción.

28.6. MÉTODOS PARA ESTIMULAR LA ACTIVIDAD SEXUAL DE LA CABRA

28.6.1. Sincronización del estro y la ovulación en hembras cíclicas

28.6.1.1. Prostaglandinas

Las prostaglandinas permiten una buena sincronización de las hembras cíclicas cuando existe un cuerpo lúteo funcional, es decir, entre 4 y 16 días después de la ovulación. Dos inyecciones intramusculares de prostaglandinas o sus análogos con un intervalo de 10-14 días, son mejores que una sola dosis. La dosis mínima recomendada para inducir una luteólisis es de 50 µg. En el estro natural, la monta puede efectuarse a 12 y 24 horas de iniciado el estro. La inseminación artificial puede también efectuarse una sola vez entre 12-24 horas de iniciado el estro, o 2 inseminaciones con un intervalo de 12 horas.

28.6.1.2. Progestágenos + prostaglandinas

Durante la estación sexual, la ovulación y el estro pueden también ser sincronizados utilizando un tratamiento con esponjas vaginales impregnadas de acetato de fluorogestona (FGA) durante 10-12 días. La inyección de prostaglandinas se aplica 48 h antes de terminar este tratamiento. Se puede aplicar gonadotropina coriónica equina (eCG) al momento de retirar las esponjas.

28.7. SINCRONIZACIÓN E INDUCCIÓN DEL ESTRO Y LA OVULACIÓN EN HEMBRAS ACÍCLICAS

28.7.1. Dispositivos intravaginales y subcutáneos

El principio de esta técnica está basado en el uso de progesterona o progestágenos, seguido de la aplicación de eCG y prostaglandinas o sus

análogos. Generalmente las cabras estimuladas de esta manera son inseminadas artificialmente con semen congelado durante la estación sexual de los machos. Una monta natural puede efectuarse si los machos son inducidos previamente a una intensa actividad sexual.

28.7.2. Esponjas intravaginales, Controlled Internal Drug Release (CIDR) e implantes subcutáneos

Las esponjas vaginales impregnadas con 45 mg de FGA son insertadas en la vagina durante 11 ± 1 días. Una inyección intramuscular de eCG y otra de 50 μg de cloprostenol son administradas 48 horas antes de retirar las esponjas. Las dosis de eCG utilizadas en las hembras Alpinas y Saanen varían de 400 a 600 U.I. con la producción láctea y la estación del año. En las hembras locales del norte de México utilizadas para la producción de carne y leche, una dosis de 200 ó 400 U.I. de eCG es suficiente para inducir y sincronizar la actividad sexual. En las hembras Boer, la inserción durante 14 días de las esponjas vaginales que contienen 60 mg de acetato de medroxiprogesterona (MAP) y la aplicación de 500 U.I. de eCG al momento de retirar las esponjas, permiten una elevada inducción y sincronización de la actividad sexual. En las cabras Cashemere de Australia, la inserción vaginal durante 16-20 días del CIDR que contiene 330 mg de progesterona asociada con 200 ó 400 U.I. de eCG 48 horas antes de retirar el dispositivo intravaginal, induce y sincroniza de manera eficiente la actividad sexual de las hembras tratadas. En las hembras Alpinas y Saanen, la permanencia del dispositivo intravaginal durante 11 días incrementa en 5% la fertilidad de las inseminadas, en comparación con aquellas en las que la esponja dura 21 días. El protocolo utilizado con los dispositivos intravaginales puede utilizarse con los implantes subcutáneos en la oreja que contienen 3 mg de norgestomet. En todos los casos la inseminación artificial puede efectuarse 43 horas después de retirar los dispositivos intravaginales o subcutáneos.

28.7.3. Tratamientos fotoperiódicos

La actividad sexual de las hembras originarias de las latitudes templadas y subtropicales sensibles al fotoperiodo, puede ser inducida durante el anestro estacional con tratamientos fotoperiódicos que asocien días largos seguidos o no de melatonina. En las hembras Alpinas y Saanen, dos meses de días largos (16 horas de luz/día) a partir del 15 de enero seguidos de la inserción subcutánea de 1 ó 2 implantes de melatonina (18 mg c/u), y la introducción de los machos tratados de igual manera que las hembras, permiten una buena estimulación de la actividad sexual de las cabras. Los machos tratados deben ser introducidos alrededor del día 35 después de haber finalizado los días largos. En estas

condiciones, las hembras pueden presentar un estro en los primeros 10 días después de la introducción de los machos. La melatonina puede evitarse si el tratamiento inicia a mediados de diciembre. En las regiones subtropicales, la actividad sexual de las hembras puede también ser inducida con tratamientos fotoperiódicos. Sin embargo, estos tratamientos deben ser adaptados a cada raza según el periodo de anestro. Los tratamientos fotoperiódicos permiten que las hembras presenten 2 ó 3 ciclos en caso de que no queden gestantes.

28.7.4. Efecto macho

Las relaciones sociales modifican la actividad sexual de los animales. Por ello, la introducción de un macho puede inducir la actividad sexual de las hembras anéstricas. Este fenómeno es conocido como efecto macho. Las cabras sometidas a este estímulo ovulan generalmente dentro de los primeros 2-5 días después de haber sido expuestas a los machos. No todas las primeras ovulaciones inducidas son acompañadas de un estro, y en la mayoría de los casos se observa un ciclo ovulatorio corto de 6-10 días de duración. Este ciclo corto es generalmente seguido de una segunda ovulación, asociada a un estro y una fase luteal de duración normal. En las razas no estacionales, como la cabra Criolla de la Isla de Guadalupe en el Caribe, la introducción del macho puede inducir una respuesta ovulatoria en cualquier época del año. Sin embargo, en las razas estacionales el efecto macho se utiliza generalmente un mes antes del inicio de la actividad sexual anual y un mes después del final de esta actividad. En otros momentos del anestro, la respuesta es baja o ausente. Esta estacionalidad de la respuesta de las hembras al efecto macho puede deberse a una inadecuada estimulación por parte del macho, en el cual el comportamiento sexual está disminuido por encontrarse en el periodo de reposo sexual. En algunas razas, el uso de machos inducidos a una intensa actividad sexual durante el periodo de reposo, puede permitir una alta respuesta de las hembras sometidas al efecto macho. Los machos de la Comarca Lagunera en los que se indujo una intensa actividad sexual con un tratamiento de 2.5 meses de días largos, estimularon el estro y la ovulación de todas las cabras (19/19), mientras que sólo 2/19 hembras expuestas a los machos testigo en reposo sexual fueron detectadas en estro y ninguna ovuló (figura 28.6). La fertilidad de las hembras montadas o inseminadas durante el primer estro inducido por el efecto macho, es baja debido a la alta frecuencia de ciclos cortos. Si las hembras son tratadas previamente durante 11 días con una esponja vaginal o una dosis de 20 mg de progesterona intramuscular al momento de la introducción del macho, los ciclos cortos se reducen considerablemente y las hembras pueden ser inseminadas en el primer estro detectado 2-5 días después de la introducción de los machos.

Hembras en estro (%)

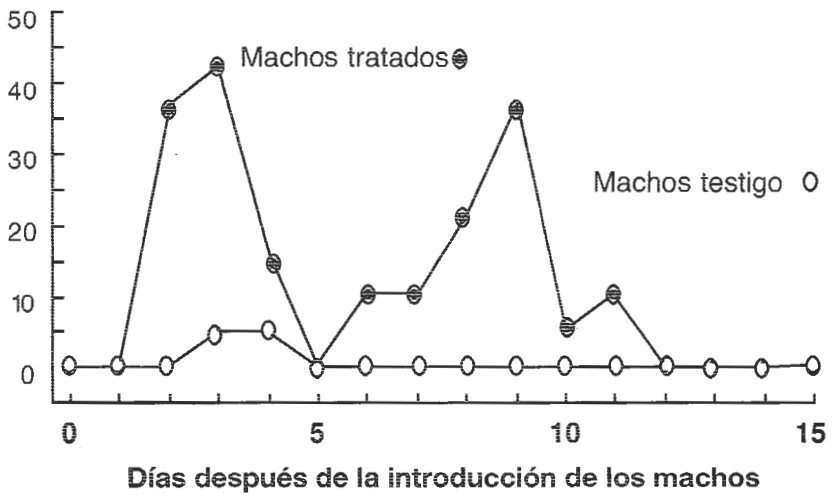


Figura 28.6. Respuesta estral de las cabras puestas en contacto con machos sometidos a las variaciones naturales del fotoperiodo o a 2.5 meses de días largos seguidos. La respuesta fue superior en las hembras en contacto con los machos tratados (adaptado de Delgadillo et al., 2002)

28.8. TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DEL ESTRO

La inmovilización de las hembras al ser montadas por el macho, es generalmente considerada como un signo de estro. Varios métodos de detección estral pueden ser utilizados, y éstos dependen principalmente del sistema de explotación, del tamaño del hato y de las posibilidades económicas y materiales de los productores.

28.8.1. Machos intactos

Los machos cabríos con experiencia sexual permiten la detección de un alto porcentaje de hembras en estro. Con la finalidad de evitar gestaciones no programadas, los machos son provistos de un mandil abdominal para evitar las copulaciones.

28.8.2. Machos vasectomizados

El uso de machos vasectomizados también permite evitar las gestaciones no programadas y el uso de los mandiles abdominales. Además, el comportamiento sexual de estos machos no disminuye. Antes de utilizar los machos recién vasectomizados, es necesario obtener al menos 10 eyaculados para verificar la ausencia de espermatozoides.

28.8.3. Hembras androgenizadas o machos castrados

Las hembras pueden ser inducidas a mostrar un comportamiento de macho al inyectárseles 50 mg de propionato de testosterona diariamente durante 18 días. Una vez que aparece este comportamiento, una inyección semanal mantiene dicho comportamiento. En machos castrados, una dosis de 60 mg de propionato de testosterona cada 3 días durante 20 días, seguidos de esta misma dosis cada 4 días, permite restablecer y mantener el comportamiento sexual.

28.9. PRUEBAS DE GESTACIÓN

Las pruebas de gestación contribuyen a la eficiencia de los programas reproductivos de los hatos caprinos. Estas pruebas identifican a las hembras no gestantes, y permiten decidir reinseminar a las hembras vacías, utilizarlas en monta natural o venderlas.

28.9.1. Retorno al estro

El método más sencillo es la detección del estro alrededor del día 21 después de la monta natural o la inseminación artificial. Esta técnica permite identificar a las hembras no gestantes porque las hembras que muestran estro, generalmente están vacías. Sin embargo, esta técnica puede ser utilizada solamente con hembras que de manera natural están cíclicas, y en aquellas inducidas a ovular a través del efecto macho o tratamientos fotoperiódicos. Generalmente las hembras anéstricas inducidas a ovular con dispositivos intravaginales o subcutáneos no presentan otro estro en caso que no queden gestantes.

28.9.2. Ultrasonido

Este método, utilizado por vía rectal o abdominal, permite visualizar al feto o al líquido amniótico a través de un monitor. Este sistema se puede utilizar de acuerdo con la experiencia del operador desde los 32-37 días de gestación.

28.9.3. Palpación abdominal

Este método, que se practica alrededor del día 75 de gestación, requiere de un buen entrenamiento y la exactitud depende de la experiencia del operador. Este método consiste en detectar la presencia del feto forzándolo a moverse en el líquido amniótico. El operador pone una mano sobre el abdomen en la parte inguinal de la hembra. Luego hace presión sobre la otra mano que está del otro lado para determinar la presencia del producto.

28.9.4. Progesterona

La progesterona secretada por el cuerpo lúteo es una hormona que se utiliza para determinar la gestación. Hay diferencias importantes en los niveles de progesterona plasmática entre una hembra vacía y una gestante 21 días después de la monta natural o la inseminación artificial. Las hembras que presentan niveles < 1 ng/ml de progesterona son consideradas no gestantes, mientras que las que tienen > 1 ng/ml de progesterona son consideradas gestantes. La progesterona es determinada por radioinmunoanálisis o un análisis inmunoenzimático.

28.9.5. Glicoproteína asociada a la gestación

Esta glicoproteína es secretada a la circulación general al unirse las células coriónicas y las uterinas para constituir la placenta. Esta hormona puede ser detectada en el plasma o suero sanguíneos alrededor del día 27 después de la inseminación artificial o monta natural. Los niveles en una hembra a los 30 días de gestación son de alrededor de 15 ng/ml. La determinación se hace por radioinmunoanálisis.

28.10. LITERATURA RECOMENDADA

- Álvarez-Ramírez, L., Ducoing-Watty, A.E., Zarco-Quintero, L.A., Trujillo-García, A.M., 1999. *Conducta estral, concentraciones de LH y función lútea en cabras en anestro estacional inducidas a ciclar mediante el contacto con cabras en estro*. Vet Méx 30:25.
- Baril, G., Saumande, J., 2000. *Hormonal treatments to control time of ovulation and fertility of goats*. Proceedings of The VII International Conference on Goats. Tours, France, 15-18 May, Volume I:400-405.
- Chemineau, P., 1986. *Sexual behaviour and gonadal activity during the year in the tropical Creole male goat*. II. Male mating behaviour, testis diameter, ejaculate characteristics and fertility. Reprod Nutr Develop 26:453.
- Chemineau, P., 1986. *Sexual behaviour and gonadal activity during the year in the tropical creole meat goat*. I. female oestrous behaviour and ovarian activity. Reprod Nutr Develop 26:441.
- Chemineau, P., 1987. *Possibilities for using bucks to stimulate ovarian and oestrous cycles in anovulatory goats: A review*. Livest Prod Sci 17:135.
- Chemineau, P., Baril, G., Leboeuf, B., Maurel, M.C., Roy, F., Pellicer-Rubio., Malpoux, B., Cognié, Y. 1999. *Implications des progrès récents en*

1. DESARROLLO EMBRIONARIO Y DIFERENCIACIÓN SEXUAL*

YSABEL C. MÁRQUEZ / CARLOS GUTIÉRREZ

- 1.1. INTRODUCCIÓN
- 1.2. DETERMINACIÓN DEL SEXO CROMOSÓMICO
- 1.3. LA GÓNADA INDIFERENCIADA
- 1.4. DIFERENCIACIÓN GONADAL
- 1.5. DIFERENCIACIÓN DE LOS CONDUCTOS SEXUALES
- 1.6. DIFERENCIACIÓN SEXUAL DEL HIPOTÁLAMO
- 1.7. CONCLUSIONES
- 1.8. LITERATURA RECOMENDADA

1.1. INTRODUCCIÓN

El sexo se ha definido como la suma de las diferencias morfológicas, fisiológicas y psicológicas que distinguen al macho de la hembra permitiendo la reproducción sexual y asegurando la continuidad de las especies.

Los procesos de diferenciación sexual se llevan a cabo durante el desarrollo embrionario, donde ocurre la proliferación, diferenciación y maduración de las células germinales y primordiales, precursoras de ovocitos y espermatozoides en hembras y machos, respectivamente. Así, los embriones machos y hembras inician su desarrollo en forma similar, de manera que en ambos sexos se establecen estructuras idénticas a partir de las cuales se formarán los órganos reproductores correspondientes a cada sexo. El conocimiento del origen y desarrollo del aparato genital es indispensable para entender su función y las alteraciones que producen infertilidad o esterilidad.

1.2. DETERMINACIÓN DEL SEXO CROMOSÓMICO

En los mamíferos, el sexo cromosómico se determina en el momento de la fertilización, cuando un óvulo, el cual contiene un cromosoma X, es fecundado

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Desarrollo embrionario y diferenciación sexual", elaborado por Ana Calderón y Javier Valencia.

por un espermatozoide portador ya sea de un cromosoma X o un cromosoma Y. En el primer caso el complemento cromosómico sería XX, lo que originaría una hembra (sexo homogamético), y en el segundo daría como resultado un macho con la fórmula cromosómica XY (sexo heterogamético).

1.3. LA GÓNADA INDIFERENCIADA

La primera manifestación de las gónadas se aprecia en el embrión en forma de un par de eminencias longitudinales llamadas crestas o pliegues gonadales, situadas a ambos lados de la línea media entre los mesonefros (riñones en desarrollo) y el mesenterio dorsal.

En los embriones de los mamíferos, las células germinales primordiales (CGP) aparecen en etapas muy tempranas del desarrollo, pudiendo ser detectadas por primera vez a la mitad de la gastrulación. Las CGP son células grandes, de citoplasma claro y núcleo grande y redondo, localizadas en la pared del saco vitelino, cerca del alantoides. Estas células tienen gran capacidad de proliferación y van a migrar desde el endodermo del intestino y el epitelio del saco vitelino, a través del mesenterio, hasta las crestas gonadales. Esto ocurre hacia el día 26 de la gestación en el bovino. Su migración se realiza gracias a movimientos de translocación pasiva y desplazamiento amiboideo activo. Se desconoce el mecanismo por el cual estas células son dirigidas hacia las crestas gonadales, sin embargo hasta la fecha se han estudiado algunas moléculas que se expresan durante su migración y que pudieran jugar un papel importante en la diferenciación de este tipo celular. La fosfatasa alcalina es una enzima que se ha utilizado como marcador de las CGP para determinar su origen y migración. En un estudio reciente, se insertó un marcador fluorescente que se expresa únicamente en las células germinales primordiales de embriones transgénicos, y utilizando este marcador y la fosfatasa alcalina se determinó el origen y el patrón de migración de estas células. El primer signo de diferenciación de las células germinales primordiales es la expresión de fosfatasa alcalina, y ésta apareció por primera vez en la parte más posterior de la línea primitiva. En el séptimo día de desarrollo en el embrión de ratón, el endodermo visceral (AF+) es reemplazado por el endodermo definitivo (AF-) originado en la parte anterior de la línea primitiva.

El factor de transcripción Oct-4 se expresa en las CGP de ambos sexos, por lo que se cree que está involucrado en mantener la totipotencialidad de las células. El receptor tirosina cinasa, cuyo ligando es el factor de Steel, es otra de las moléculas que expresan las CGP. Se ha demostrado que este receptor tiene un papel muy importante en la sobrevivencia de este tipo

celular. Existen otros factores que promueven la sobrevivencia y/o proliferación de las CGP *in vitro*. En experimentos realizados con el factor transformante beta 1 (TGF β -1), se ha observado que éste tiene un efecto negativo sobre la proliferación de las CGP. Otra actividad que se le ha postulado a este factor es el de un agente quimioatrayente que quizá pueda dirigir la migración de estas células hacia la gónada.

Por lo tanto, la gónada primitiva está integrada por dos tipos de tejidos:

- a) Uno formado por las células germinales primordiales (precursoras de los gametos masculinos o femeninos), rodeadas de células somáticas de las que posteriormente se derivarán las células de Sertoli en el macho y las células de la granulosa en la hembra.
- b) El tejido que formará el estroma de la gónada: tejido conectivo, vasos sanguíneos y las células intersticiales con actividad esteroideogénica (células de Leydig en el testículo y la teca interna del ovario).

Las células somáticas del primordio gonadal se originan del mesodermo. Inicialmente son de tres tipos: mesenquimáticas, mesoteliales y endoteliales. Las células mesenquimáticas y mesoteliales inician gran actividad proliferativa al llegar las CGP. Se observa entonces una condensación de células de origen mesotelial y mesenquimatoso que forma un agregado compacto denominado "blastema gonadal". A partir de este primordio embrionario, se diferencian dos tejidos gonadales: los cordones sexuales y el estroma. Los cordones sexuales son arreglos epiteliales que se encuentran delimitados por una lámina basal y dentro de ellos encontramos las CGP. Por su parte, en el estroma se encuentran células de tipo mesenquimático y vasos sanguíneos.

En este momento, las gónadas son indiferenciadas y bipotencialmente sexuales, siendo imposible diferenciar morfológicamente una gónada masculina de una femenina, pero en el caso de los machos genéticos ya existe una diferenciación de la gónada a nivel molecular. En esta etapa ya se encuentran presentes las estructuras de las cuales se desarrollan los conductos mesonéfricos o de Wolff precursores del aparato genital masculino y los conductos paramesonéfricos o de Müller que darán origen al aparato reproductor femenino.

Existen una serie de factores involucrados en el desarrollo temprano de la gónada, entre los cuales destaca el factor esteroideogénico I (SF1: Steroidogenic factor 1), que es un miembro de la subfamilia de receptores nucleares, receptores huérfanos. Este factor de transcripción tiene un sitio de unión al DNA compuesto por dos dedos-de-Zinc. El SF1 fue identificado como un activador de genes involucrados en la biosíntesis de esteroides en

diferentes células. El SF1 está presente durante el desarrollo embrionario en regiones asociadas con funciones endocrinas como gónadas, adrenales, pituitarias e hipotálamo. Los animales homocigotos para el gen SF1 defectuoso, carecen de gónadas y adrenales y tienen la función gonadotrófica alterada. Los ratones sin SF1 carecen de gonadotrofos y tienen un desarrollo anormal del núcleo ventro-medial del hipotálamo; en particular las gónadas dejan de desarrollarse entre los días 11 a 15 y degeneran por apoptosis. Sin embargo, la cresta genital se llega a formar y es colonizada por las células germinales, lo que indica que éstas siguen recibiendo la señal adecuada para su migración. Por lo tanto, el SF1 no está involucrado en el desarrollo temprano de la gónada y del sistema urogenital, más bien parece estar involucrado en el mantenimiento del crecimiento de las células somáticas presentes en la gónada indiferenciada.

El gen asociado al tumor de Wilms (WT1: Wilm's tumor associated) está también implicado en el desarrollo de la gónada y del riñón. Durante el desarrollo embrionario, WT1 se expresa en todo el mesodermo intermedio y posteriormente en la gónada indiferenciada, así como en el riñón en formación. WT1 regula la señal inductiva del mesénquima hacia el epitelio celómico de los mesonefros. Si éste es el caso, entonces WT1 es el responsable del crecimiento de la cresta genital al dirigir el ingreso del epitelio celómico. Dado que estas células darán origen a las células de Sertoli, la carencia de WT1 puede causar el desarrollo de embriones XY como hembras simplemente porque no se forman las células de Sertoli.

En general, todos los genes importantes en la diferenciación del mesodermo intermedio y del sistema urogenital intervienen por lo general en el desarrollo de la gónada temprana.

1.4. DIFERENCIACIÓN GONADAL

El desarrollo de las gónadas y conductos genitales descritos hasta el momento, es el mismo para ambos sexos. Igualmente, los genes descritos, que están involucrados en el desarrollo de las gónadas, conductos genitales y migración de las células germinales, afectan por igual a embriones con genotipo XX o XY.

La gónada primitiva consta anatómicamente de una médula (interna) y una corteza (externa), y de acuerdo con el lugar en donde ocurra la colonización de las células germinales, se diferenciará en testículo u ovario, respectivamente. En los mamíferos, la primera manifestación estructural de diferenciación sexual se detecta en la gónada de los machos, en donde las células germinales se localizan en la médula.

La diferenciación del testículo se inicia cuando los cordones sexuales se separan del epitelio celómico como consecuencia de los arreglos producidos por una invasión del mesénquima y vasos sanguíneos que provoca la compactación de los cordones ahora denominados cordones testiculares. Las células que rodean los cordones se aplanan y formarán las células mioides, que son las encargadas de la formación de las membranas basales. Las células del epitelio interno, es decir las células de Sertoli, tienen dos funciones principales: el soporte de las CGP y la síntesis de la hormona antimülleriana, responsable de la regresión de los conductos de Müller y secretada durante el periodo de diferenciación sexual.

Las células del estroma que rodean a los cordones testiculares se diferencian para formar varios tipos celulares: células mioides, fibroblastos, endotelio y células de Leydig, que son las más importantes por su actividad endocrina. Posteriormente, los cordones testiculares dan origen a los túbulos seminíferos, que contienen el epitelio que producirá los espermatozoides al llegar a la pubertad.

En la hembra, durante las etapas tempranas de diferenciación gonadal no se observan cambios con respecto a la gónada indiferenciada, sólo se puede observar un cierto crecimiento debido a la proliferación de células somáticas y germinales. Las células germinales inician un período de proliferación, el cual termina con el inicio de la meiosis. Iniciada ésta, principia a su vez el proceso de foliculogénesis; en este momento los cordones epiteliales se fragmentan, de tal manera que cada ovocito queda rodeado de células epiteliales cubiertas por una lámina basal delgada (figura 1.1).

Para que la gónada primitiva se desarrolle en testículo es indispensable la presencia del cromosoma Y, independientemente del número de cromosomas X que contenga el genoma de un individuo. El gen determinante del testículo se encuentra localizado en el cromosoma Y, denominado *sry* en ratón y *SRY* en humanos. El gen *sry* se expresa durante el desarrollo embrionario en la cresta genital de embriones de ratón. La expresión es detectable en el día 10.5, poco después de la aparición de las crestas genitales, llega a su máximo durante el día 11.5 y se mantiene hasta poco después de que se dan los primeros signos morfológicos de diferenciación testicular en el día 12.5. Este patrón de expresión es compatible con la teoría de que *sry* actúa induciendo la activación de los genes (figura 1.2) que conducen al desarrollo testicular, sin que exista la necesidad de la expresión continua de *sry* para mantener la diferenciación del testículo después del día 12.5.

Como se mencionó anteriormente, la gónada primitiva está formada por varios tipos de células. Sin embargo, las células germinales primordiales no son el sitio de expresión del *sry*, ya que embriones que carecen de

Estado indiferenciado

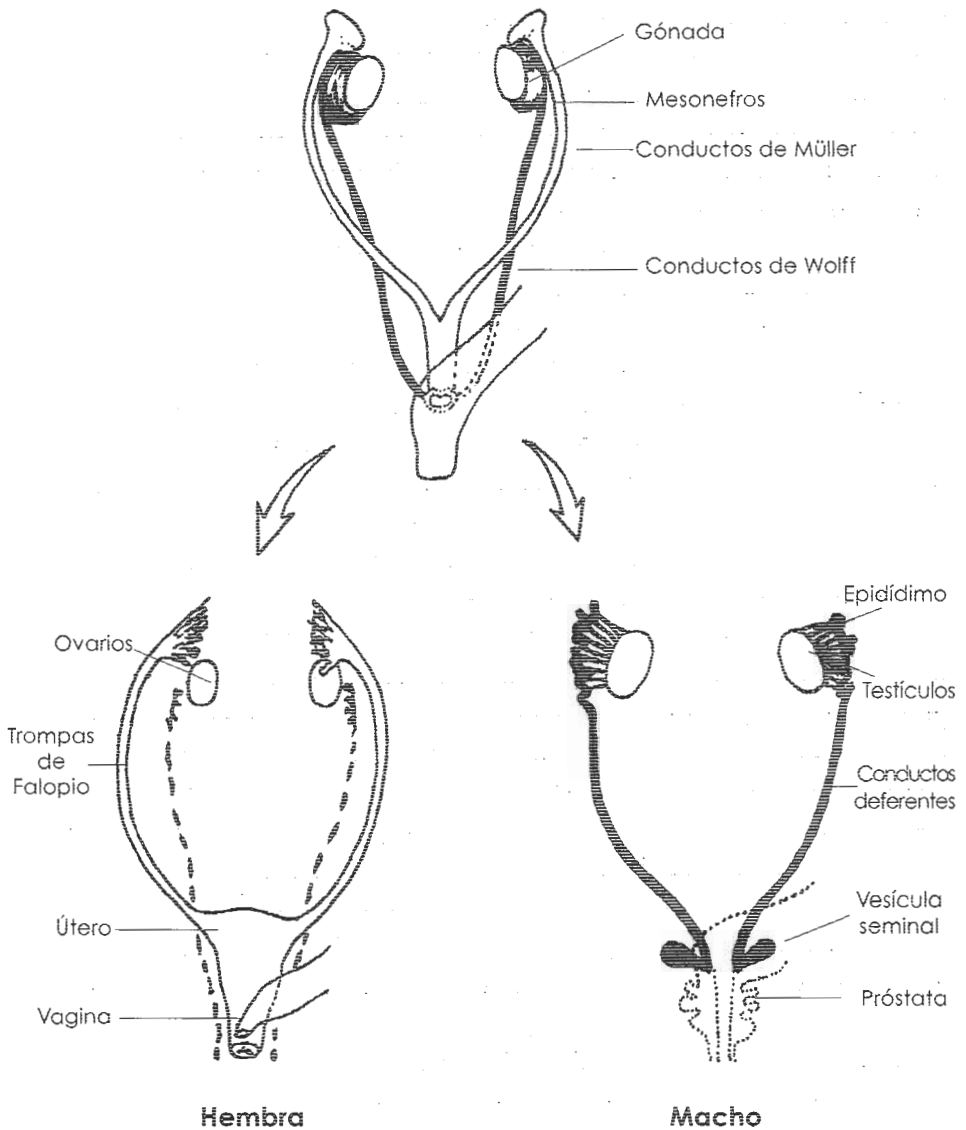


Figura 1.1. Representación de la diferenciación de los órganos genitales internos

células germinales mantienen la expresión de *sry* y desarrollan el sexo gonadal normalmente. Las células somáticas en la gónada en desarrollo incluyen también a las células de soporte. Se sabe que es en estas células donde el *sry* es expresado para que se diferencien en células de Sertoli, y la expresión transitoria de *sry* indica que debe activar a otros genes para el mantenimiento

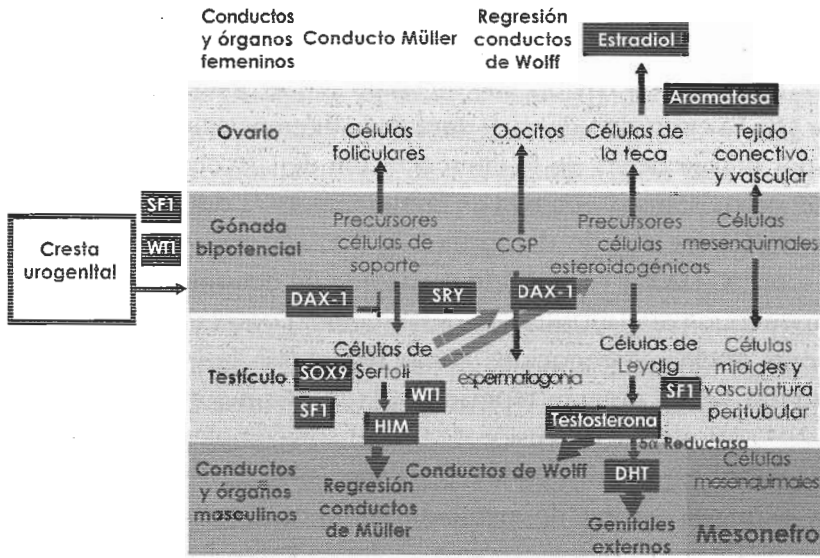


Figura 1.2. Cascada de genes que intervienen en la diferenciación sexual (adaptado de Koopman, 1999).

de las células de Sertoli. Una vez diferenciadas las células de Sertoli, éstas se encargarán de la diferenciación del resto de las células en la gónada.

El factor *sry* es necesario para la diferenciación del testículo. Aunque a ciencia cierta no se conocen los genes que probablemente estén regulando a *sry*, estudios realizados en ratón demuestran que este gen parece coordinarse con ciertos genes autosómicos. Entre estos genes autosómicos destaca el *sox9*, el cual es producido por las células de Sertoli una vez que son estimuladas por *sry*, de modo que *sox9* es uno de los genes relacionados estructuralmente con *sry*. *Sox9* funciona como un factor de transcripción, pero no se sabe si la proteína tiene además alguna otra función estructural; este gen se expresa abundantemente en los condrocitos y está relacionado con defectos del aparato óseo llamados displasia campomélica. Curiosamente, los pacientes XY con este padecimiento sufren frecuentemente de reversión del sexo. *Sox9* es uno de los pocos genes, además de *SRY*, del cual se ha demostrado que sus mutaciones interfieren con la determinación sexual masculina. Sin embargo, sólo 75% de los pacientes con anomalías esqueléticas en displasia campomélica tienen reversión sexual y no se han encontrado casos de reversión sexual debida a un defecto de *sox9* que no vaya acompañado de defectos esqueléticos. Esto indica que *sox9* es sólo un miembro de la red de genes que se activan para determinar la diferenciación sexual, mientras que la ruta que rige la condrogénesis es más sensible a perturbaciones de *sox9*. El momento en que se detecta la expresión del gen *sox9* (11dpc en

ratones) coincide con la máxima expresión de *sry*, lo que podría indicar la posibilidad de que *sry* regule positivamente a *sox9*. De hecho, en la región del promotor de *sox9* hay un sitio de unión al que potencialmente se le puede unir *sry*. La expresión de *sox9* durante la diferenciación sexual sugiere un papel por debajo de *sry* en la diferenciación de las células de Sertoli.

El cromosoma X también es importante en la diferenciación gonadal. El gen DAX-1 fue aislado del locus DSS (*Dosage sensitive sex reversal*) del cromosoma X. DAX-1 es parte de la cascada de determinación sexual, pero no es requerido para la formación del testículo. DAX-1 es un miembro de los receptores nucleares conocidos como receptores huérfanos. Este gen ha demostrado ser un potente represor de la transcripción de SF1 y de varios genes. Los patrones de expresión de DAX-1 son complementarios a aquellos de SF1, ambos expresados en las crestas genitales. En resumen, dada la evidencia expuesta, se ha desarrollado la hipótesis de que DAX-1 es un antagonista de *sry*; este antagonismo es dependiente de los niveles relativos de DAX-1 y *sry* y de un umbral que varía de especie a especie. DAX-1 ha sido calificado como el gen antitestículo.

En la hembra (cariotipo XX) es importante que ocurra la inactivación de uno de los cromosomas sexuales X para que se mantenga el equilibrio génico al igualar el contenido de ADN de los cromosomas. Este cromosoma inactivado constituye el llamado corpúsculo de Barr. Sin embargo, para que la meiosis se efectúe se necesita de los dos cromosomas X activos en los ovocitos para asegurar la diferenciación ovárica y la fertilidad.

1.5. DIFERENCIACIÓN DE LOS CONDUCTOS SEXUALES

El embrión posee además de las gónadas indiferenciadas, dos sistemas de conductos: los de potencialidad masculina se denominan conductos de Wolff o mesonéfricos, y los de potencialidad femenina se llaman conductos de Müller o paramesonéfricos (figura 1.1). Si la diferenciación gonadal ha conducido a la formación de un testículo, a partir del conducto mesonéfrico o de Wolff se desarrollarán los conductos eferentes, el epidídimo, los conductos deferentes y las vesículas seminales.

Las hormonas importantes en el desarrollo del aparato genital masculino son la testosterona, producida por las células de Leydig, y su forma 5α reducida, la 5α dihidrotestosterona. Se cree que la testosterona es responsable de la virilización de los conductos de Wolff, y la dihidrotestosterona de los órganos genitales externos.

En el macho los conductos de Müller se atrofian debido a la acción de una hormona fetal de origen testicular denominada hormona inhibidora de

las estructuras de Müller (HIM) u hormona antimülleriana. Este proceso comienza en cuanto los cordones espermáticos se han formado y se diferencian las células de Sertoli. La existencia de HIM fue propuesta basada en estudios realizados en becerras Freemartin, debido a la existencia de una hormona responsable por la atresia de los conductos de Müller que en la hembra da origen al útero y los oviductos. Esta hormona provoca la involución del aparato genital del bovino en las gestaciones gemelares en las que los productos de diferente sexo tienen comunicación sanguínea por haber ocurrido la anastomosis de los vasos de ambas placentas (figura 1.3).

La HIM es una glicoproteína perteneciente a la subfamilia de TGF β , es expresada por las células que darán origen a las células de Sertoli y es uno de los primeros marcadores de diferenciación en estas células. La HIM es secretada también en la vida adulta por las células de Sertoli en el testículo y por células de la granulosa en el ovario. En el ratón la HIM es expresada en el día 12 en un patrón que sigue muy de cerca el aumento en expresión de *sry*. En el macho, esta secreción de HIM continúa durante la vida fetal y adulta, sin embargo los niveles de HIM declinan en la pubertad debido a un aumento en la secreción de testosterona.

Varios factores intervienen en la regulación del gen de HIM, incluyendo a los antes descritos SF1 y *sox9*. El gen de HIM contiene segmentos de DNA que se conservan en varias especies de vertebrados. Existe un sitio de unión para SF1, el cual activa la transcripción de HIM. La mutación en el sitio de unión de SF1 resulta en reversión del sexo en individuos XY incluyendo genitales femeninos normales, presencia de un útero formado recalcando la importancia de SF1 en la determinación sexual y en la expresión de HIM. Aunque SF1 es un buen candidato como regulador de HIM, es expresado en otras células, como las de Leydig y adrenales, que no expresan HIM. En cambio, *sox9* es expresado únicamente en las células de Sertoli que son las productoras de HIM. El gen de HIM también tiene un sitio de unión para *sox9*. Además, *sox9* puede actuar sinérgicamente con SF1 para promover la secreción de HIM. En contraposición a estos dos factores de transcripción, DAX-1 antagoniza la acción de *sox9* y probablemente SF1 sobre el promotor de HIM. Por lo tanto, para que las células de Sertoli secreten HIM, la transcripción de DAX-1 debe disminuir.

Los conductos de Wolff se convierten en el sistema eyaculatorio del macho. La porción más proximal a los testículos da origen al epidídimo, la parte central al conducto deferente y la porción más distal a las vesículas seminales. La próstata y la parte membranosa de la uretra del macho se desarrolla a partir de la porción pélvica del seno urogenital. La virilización y la diferenciación de los conductos de Wolff dependen de la producción de

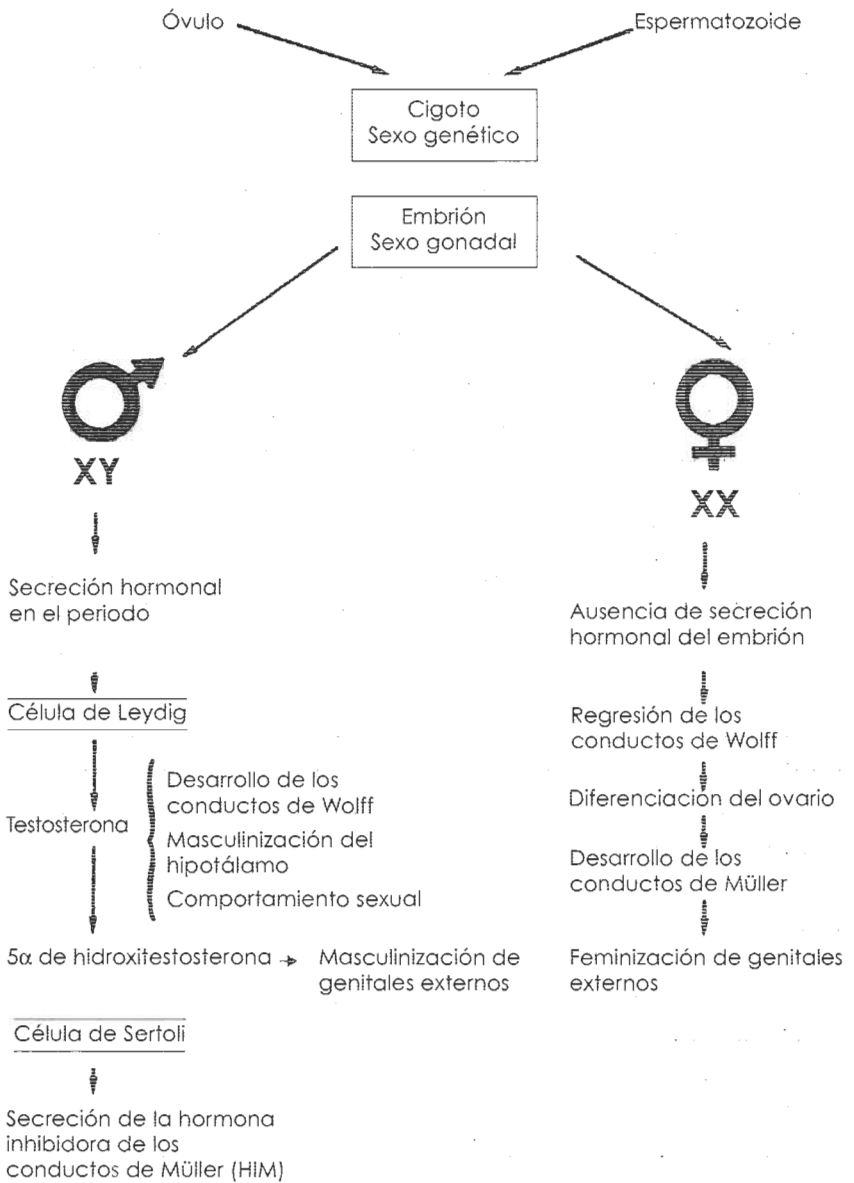


Figura 1.3. Representación de la diferenciación de los órganos genitales externos

testosterona por parte del testículo. En cuanto a los órganos genitales externos del macho, el tubérculo genital se agranda y los pliegues uretrales se fusionan para formar la uretra peneana. La fusión de los pliegues uretrales acerca a los tubérculos genitales para formar el escroto (figura 1.4.).

La diferenciación de los órganos genitales de la hembra ocurre en forma pasiva, ya que la ausencia de testículos y por lo mismo de la hormona inhibidora de los conductos de Müller (HIM), así como de los andrógenos

virilizantes, favorece el desarrollo de los conductos de Müller, mientras que los de Wolff sufren atrofia. La porción cefálica de los conductos de Müller da origen a los oviductos, que en su terminación caudal se fusionan con el útero. El contacto de los conductos de Müller con el seno urogenital induce una intensa proliferación celular que resulta en la formación del área o plato uterovaginal localizado entre el seno urogenital y los conductos de Müller. Las células del plato uterovaginal proliferan y aumentan la distancia entre las dos estructuras creando el espacio que formará la vagina cuando el plato se canaliza y forma un lumen. En contraste con lo que sucede en el macho, en la hembra la mayor parte del seno urogenital se mantiene expuesto en la superficie de la apertura donde desembocan la vagina y la uretra. El tubérculo urogenital de la hembra tiene un crecimiento limitado y forma el clítoris.

Cuadro 1.1. Destino en el desarrollo de los rudimentos sexuales en los fetos macho y hembra de los mamíferos

Rudimento sexual	Macho	Hembra
Gónada	Testículos	Ovarios
Conductos de Müller (paramesonérficos)	Vestigios	Útero, oviductos y parte de la vagina
Conductos de Wolff (mesonérficos)	Conductos eferentes, epidídimo. Conductos eferentes, vesícula seminal	Vestigios
Seno urogenital	Uretra, próstata, glándulas bulbouretrales	Parte de la vagina, uretra, vestíbulo, glándulas vestibulares
Tubérculo genital (<i>Phallus</i>)	Pene	Clítoris
Pliegues vestibulares	Escroto	Labios vulvares

Adaptado de: Frye A. Hormonal control in vertebrates. N.Y. McMillan. En Reproduction in Farm Animals. Hafes., E.S.E. (ed) Lea and Febiger. Philadelphia, 1974.

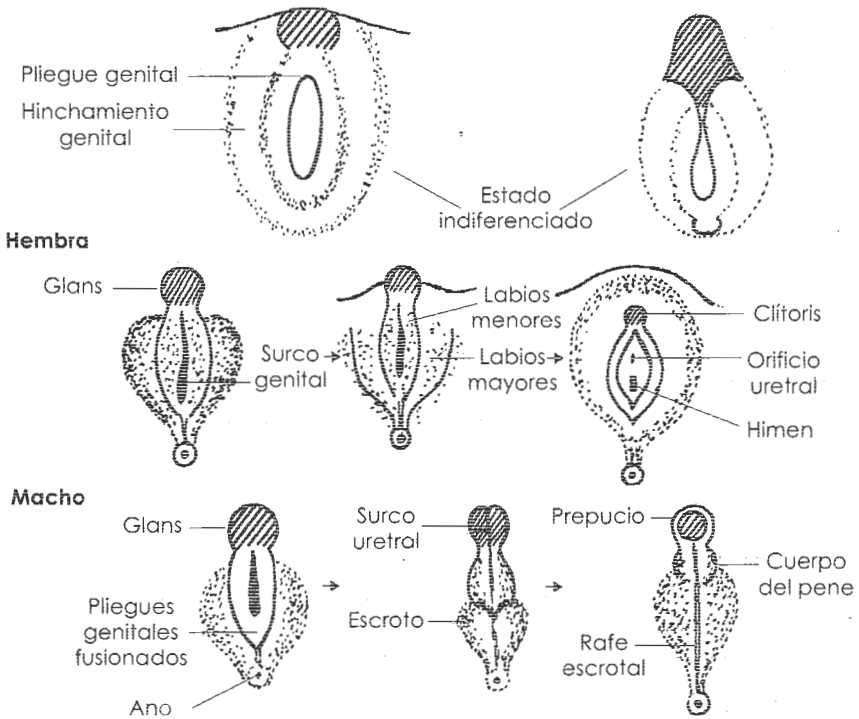


Figura 1.4. Diferenciación del aparato genital de la hembra y del macho

La secuencia de pasos de la diferenciación sexual del aparato genital se encuentra resumida en el cuadro 1.1.

1.6. DIFERENCIACIÓN SEXUAL DEL HIPOTÁLAMO

Los procesos de diferenciación sexual no se limitan únicamente a las células somáticas del organismo del feto, sino que incluyen también a los centros nerviosos superiores del cerebro. Así, de la misma manera en que la gónada y los conductos sexuales se desarrollan hacia el tipo femenino o masculino, se ha propuesto que el cerebro puede ser "masculinizado" o permanecer "feminizado".

La diferenciación del hipotálamo va a depender del ambiente esteroi- dal del neonato y ocurre en la etapa perinatal. Estos eventos serán de gran trascendencia en la vida reproductiva del individuo.

Tanto la hembra como el macho nacen con la capacidad de secreción de gonadotropinas de acuerdo con un patrón cíclico; sin embargo, en el macho la exposición del hipotálamo a la acción de los andrógenos testiculares durante los primeros días de la vida extrauterina causa la masculinización, con lo cual el hipotálamo del macho se programa para que la secreción de gonadotropinas se realice a un ritmo relativamente constante por parte de la hipófisis (secreción tónica).

En la hembra, tanto la secreción tónica como cíclica se conservan. Sin embargo se ha observado que la inyección de testosterona o el trasplante de testículo en la rata hembra durante los primeros días de vida, suprime su futura actividad estral (secreción cíclica). Por otra parte, si se trasplantan ovarios a la rata macho normal castrada en la edad adulta, el animal no desarrolla ninguna actividad cíclica, pero si los machos trasplantados se castran al nacer, el ovario es capaz de efectuar cambios cíclicos y ovulaciones. Esto ha sido demostrado en roedores, pero no en animales domésticos o en la especie humana.

Por lo tanto, el patrón de secreción de gonadotropinas, ya sea cíclico o tónico, no depende de la hipófisis, sino del hipotálamo y su correcta diferenciación.

1.7. CONCLUSIONES

La mayoría de los conocimientos en el campo de la biología del desarrollo y muy específicamente de los procesos de diferenciación sexual se han originado de estudios relacionados con desórdenes congénitos, los cuales en su mayoría se deben a defectos de genes específicos. El análisis detallado de estos desórdenes ha permitido entender algunos mecanismos endocrinos, moleculares y genéticos involucrados en la diferenciación sexual.

La identificación del gen *sry* como determinante del testículo fue un aporte crucial y abrió las puertas al entendimiento de los mecanismos moleculares y celulares relacionados con el desarrollo del testículo. Si este gen no está presente, se echa a andar un programa genético alternativo para llevar a cabo la diferenciación gonadal hacia ovario.

Finalmente debemos tener presente que es necesaria una correlación entre cambios morfológicos y expresión de genes durante el desarrollo para entender los mecanismos relacionados con la diferenciación.

1.8. LITERATURA RECOMENDADA

- Anderson, R., Copeland, T.K., Scholer, H., Heasman, J., Wylie, C. 2000. *The onset of germ cell migration in the mouse embryo*. Mech Develop 91: 61.
- Ashdown, R.R., y Hancock, J.L. 1980. "Functional anatomy of male reproduction". En: *Reproduction in farm animals*. Hafez, E.S.E. (ed). 4a. ed. Lea and Febiger. Philadelphia.
- Austin, C.R., y Short, R.V., 1972. *Reproduction in mammals. I. Germ cells and fertilization*. Cambridge University Press.

- Buehr, M. 1997. *The primordial germ cells of mammals: Some current perspectives*. Exp. Cell Res 232: 194.
- Capel, B. 2000. *The battle of the sexes*. Mech Develop 92: 89.
- Donahoe, P. K., Ito, Y., Price, J.M., y Hendren, W.H.H. 1977. *Mullerian inhibiting substance activity in bovine foetal, newborn and prepubertal testes*. Biol Reprod 16:238.
- George, F.W., Wilson, J.D. 1994. "Sex determination and differentiation". En: *The physiology of reproduction*. Knobil y Neill (ed) 3a. ed., Raven Press Ed. Nueva York.
- Hafez, E.S.E. 1980. Functional Anatomy of Female Reproduction. En: *Reproduction in farm animals*. Hafez, E.S.E. (ed.), 4a. ed., Lea and Febiger, Philadelphia.
- Hanley, N.A., Ikeda, Y., Luo, X., y Parker, K.L. 2000. *Steroidogenic factor 1 (SF1) is essential for ovarian development and function*. Mol Cell Endocrinol 163: 27.
- Hiort, O., y Holterhus. 2000. *The molecular basis of male sexual differentiation*. European J. Endocrinol 142: 101.
- Holy, L., y Martínez, G. 1970. *Biología de la reproducción bovina*. Ciencia y Técnica, La Habana.
- Johnson, M. 1978. *Development in mammals*. North Holland. Biomedical Press, Amsterdam.
- Johnson, M., y Everitt, B. 1980. *Essential reproduction*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Josso, N., Racine, C., Di Clement, N., Rey, R., Xavier, F. 1998. *The role of anti-Mullerian hormone in gonadal development*. Mol Cell Endocrinol 145:3.
- Kofman-Alfaro, S., Merchant, H., y Pérez Palacios, C. 1982. *Diferenciación sexual. I. Bases biológicas del dimorfismo sexual*. Rev Invest Clin, 34:349.
- Koopman, P. 1999. *Mammalian testis-determining genes*. Cell Mol Life Sci 55: 839.
- Merchant, H. "Ovarian differentiation". 1978. En: *The vertebrate ovary*. Jones, R.E. (ed.) Plenum Press, Nueva York.
- Merchant, H., y Moreno-Mendoza, N. 2001. *Onset of sex differentiation: Dialog between genes and cells*. Arch Med Res 32:553.
- McDonald, L.E. 1980. *Veterinary endocrinology*. 3a. ed., Lea and Febiger. Philadelphia.
- Nef, S., y Parada, L.F. 2000. *Hormone in male sexual development*. Gene Dev 14: 3075.
- Parker, K.L., Schedl, A., y Schimmer, B.P. 1999. *Gene interactions in gonadal development*. Annu Rev Physiol 61:417.

-
- Swain, A., Lovell-Badge, R. 1999. *Mammalian sex determination: A molecular drama*. *Gene Dev* 13:755.
- Wilson, J.D., Griffin, J.E., y George, S.W. 1980. *Sexual differentiation: Early hormone synthesis and action*. *Biol Reprod* 22: 9.

4. ENDOCRINOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN*

LUIS ZARCO

- 4.1. DEFINICIONES
- 4.2. EL SISTEMA ENDOCRINO COMO UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN
- 4.3. CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE LAS HORMONAS
- 4.4. NEUROENDOCRINOLOGÍA REPRODUCTIVA
- 4.5. LITERATURA RECOMENDADA

4.1. DEFINICIONES

La endocrinología es la ciencia que se encarga del estudio de las hormonas y sus efectos. Clásicamente se ha considerado a las hormonas como “sustancias secretadas hacia la circulación por glándulas especializadas, y que ejercen una función sobre un órgano blanco”. Sin embargo, es necesario ser más específicos, ya que las hormonas no son producidas en cualquier célula de la glándula, sino en células específicas. Por ejemplo, la insulina es producida por las células β de los islotes del páncreas, y no por otras células pancreáticas. De la misma manera, hablar de un “órgano blanco” no es exacto, ya que las hormonas actúan solamente en las células que tengan receptores específicos, y no en otras células del mismo órgano, por lo que es más apropiado hablar de “células blanco”.

Por lo anterior, una definición más apropiada de hormona es la siguiente: las hormonas son reguladores biológicos, producidos y secretados en cantidades muy pequeñas por células vivas, y que después de ser transportadas en la circulación actúan sobre células blanco, en donde ejercen una acción específica.

Es importante tomar en cuenta que las hormonas solamente regulan estimulando o inhibiendo funciones que ya existen dentro de la célula blanco. Las hormonas son extraordinariamente potentes, por lo que se requieren

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* “Endocrinología de la reproducción”, elaborado por Alberto Saltiel, Carlos Galina y Saúl Fernández Baca.

cantidades muy pequeñas para inducir una respuesta en la célula blanco. Así, las concentraciones circulantes de la mayoría de las hormonas son del orden de nanogramos (10^{-9} g) o de picogramos (10^{-12}) por mililitro.

Algunas hormonas ejercen su efecto en células muy cercanas a aquellas en las que la sustancia fue producida, por lo que no es necesario su transporte a través de la circulación general. Este tipo de sustancias se llaman parahormonas, u hormonas locales. Un ejemplo es la prostaglandina F₂ α , que es producida en el epitelio uterino (endometrio) y provoca contracciones en las células musculares del mismo órgano (miometrio). Se debe tomar en cuenta, sin embargo, que la misma sustancia puede en otros casos comportarse como una hormona clásica, actuando en un órgano distinto al sitio de producción. Tal es el caso de la misma prostaglandina de origen endometrial cuando actúa sobre el cuerpo lúteo del ovario, provocando su regresión.

La mayoría de las hormonas son producidas por células de origen epitelial; sin embargo, muchas hormonas son producidas por neuronas, en cuyo caso se les denomina neurohormonas. En realidad todas las neuronas secretan alguna sustancia, pero solamente se trata de neurohormonas cuando son vertidas hacia la circulación, a través de la cual llegan a otros órganos para ejercer su efecto. Esto hace que se diferencie de los neurotransmisores, que son secretados por una neurona para ejercer su efecto en una célula adyacente con la que establece una sinapsis (neurona con neurona, neurona con célula muscular, neurona con célula glandular). La clasificación de una sustancia como hormona o como neurohormona no depende de su estructura química, sino del tipo de célula que la produce. Así, una misma sustancia es una hormona cuando es producida por una célula de tipo epitelial y una neurohormona al ser producida por una neurona. Por ejemplo, la oxitocina es secretada en la neurohipófisis por neuronas hipotalámicas, en cuyo caso se trata de una neurohormona, pero también es secretada por células del cuerpo lúteo de los rumiantes, tratándose en este caso de una hormona.

En algunos casos, las hormonas son secretadas en una forma inactiva llamada prehormona, que requiere de una transformación posterior para convertirse en la forma activa de la hormona. Así, el angiotensinógeno circulante solamente cobrará actividad biológica al ser transformado en angiotensina por acción de la enzima renina. Algunas sustancias pueden actuar como hormonas en algunos casos y como prehormonas en otros. Por ejemplo, la testosterona actúa como hormona en las células musculares, en las cuales tiene un efecto anabólico directo. Sin embargo, para que la testosterona induzca la masculinización de los órganos genitales externos en un feto macho, es necesario que sea transformada en el tejido blanco a 5α -dehidrotestosterona por acción de un enzima reductasa. En este caso la

testosterona actúa como prehormona y la dehidrotestosterona como hormona.

Es evidente que las hormonas son mensajeros químicos que comunican a células distintas dentro del mismo organismo. Sin embargo, existen casos en los que se requiere una comunicación química entre organismos diferentes, generalmente de la misma especie. Las sustancias empleadas para este fin se denominan ferohormonas o feromonas. Estas sustancias deben tener la capacidad de dispersarse en el ambiente, por lo que en los organismos terrestres generalmente se trata de sustancias volátiles, mientras que las feromonas de organismos acuáticos generalmente son sustancias hidrosolubles. Aunque muchas feromonas tienen una función sexual o reproductiva, éste no siempre es el caso, y pueden utilizarse para otro tipo de comunicación.

4.2. EL SISTEMA ENDOCRINO COMO UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El sistema endocrino es un sistema de comunicación que tiene por objeto mantener la homeóstasis del organismo, promover su desarrollo, crecimiento y reproducción, y permitir su adaptación a los cambios en el entorno. Se trata de un sistema de comunicación de tipo inalámbrico, a diferencia del sistema nervioso, que es un sistema de comunicación alámbrica. Ambos sistemas de comunicación interactúan entre sí, dando origen al sistema neuroendocrino.

En todo sistema de comunicación existe una serie de elementos necesarios para que dicha comunicación se lleve a cabo en forma efectiva. Estos elementos incluyen al emisor, el mensaje, la señal, el medio de transporte de la señal, el receptor, el efector, la respuesta y la retroalimentación. Todos los elementos son igualmente importantes, y una deficiencia en cualquiera de ellos puede interrumpir o alterar la comunicación.

4.2.1. El emisor o transmisor

Es el elemento responsable de transmitir un mensaje; podríamos compararlo con la redacción de noticieros de un canal de televisión, la cual analiza toda la información disponible: la proveniente de sus propios reporteros, la de agencias de noticias internacionales y la existente en Internet, entre otros, antes de decidir cuáles serán las noticias que se transmitirán ese día, en qué orden de importancia, y qué énfasis se les dará. Los mensajes transmitidos por el emisor no son aleatorios, sino que responden a un análisis responsable de las necesidades de información.

En el sistema endocrino el emisor es la célula productora de la hormona. La célula también analiza la información disponible, tal como la concentración

de diversos metabolitos en la sangre, la concentración de otras hormonas, y los mensajes que reciba por vía nerviosa, antes de decidir si secretará su hormona, en qué cantidad lo hará y con qué frecuencia. Por esta razón, al estudiar el sistema endocrino no solamente debemos conocer a la célula transmisora, sino cuál es la información que dicha célula recibe, y cómo la analiza y la prioriza para construir su mensaje.

4.2.2. El mensaje

El mensaje es la información transmitida por el emisor. En el caso de un sistema de noticias televisivas, el mensaje es la noticia. En el sistema endocrino el mensaje que se transmite es la necesidad de que en otras células se lleven a cabo determinadas acciones. Por ejemplo, las células productoras de oxitocina en el hipotálamo, al analizar la información proveniente de la glándula mamaria y del sistema nervioso de la madre, pueden decidir que es necesario transmitir el mensaje: "El becerro está hambriento, las células mioepiteliales de la glándula mamaria tienen que contraerse fuertemente para permitir la bajada de la leche".

4.2.3. La señal

La señal es la forma en la cual se codifica el mensaje para permitir su difusión. Así, en el caso de un noticiero, el mensaje (la noticia) es codificada en forma de ondas de radio de una determinada frecuencia, amplitud e intensidad. En el caso del sistema endocrino, el mensaje (la necesidad de realizar una función celular) es codificado en la forma de una hormona secretada en determinada cantidad, frecuencia y amplitud.

Es importante tomar en cuenta que el emisor codifica el mensaje de forma tal, para que cuando el receptor descifre la señal obtenga la información originalmente contenida en el mensaje. Sin embargo, la señal puede ser interpretada de distintas formas por receptores diferentes, lo que puede provocar respuestas distintas a las esperadas.

Por ejemplo, la noticia transmitida por un noticiero de radio podría estar codificada en forma de ondas de radio que, por coincidencia, para el sistema electrónico de un avión signifiquen: "baja los alerones y acelera", razón por la cual está prohibido utilizar aparatos electrónicos durante el despegue y aterrizaje de estos aparatos.

De la misma forma, el mensaje codificado como secreción de adrenalina en determinada cantidad y frecuencia, puede ser interpretado por el hepatocito como una orden para liberar glucosa hacia la circulación, por el corazón como una orden para acelerar sus contracciones, y por los folículos pilosos

como una orden para erizar el pelo. En un momento dado se puede presentar una respuesta patológica debido a las diversas formas de interpretar un mensaje; por ejemplo, la repetida secreción de adrenalina en un individuo estresado puede resultar en el desarrollo de un problema de hipertensión arterial. Por esta razón, es necesario conocer la forma como cada célula endocrina codifica sus mensajes, así como la forma en que esas señales pueden ser interpretadas en diferentes órganos y tejidos, o en diferentes momentos de la vida de un animal.

4.2.4. El medio de transporte de la señal

La señal tiene que viajar o difundirse desde el emisor hasta el receptor, y en su camino ser modificada de diversas formas. Por ejemplo, las señales de radio viajan a través de la atmósfera, y durante ese trayecto pueden ser bloqueadas por una barrera física (como en un túnel), amplificadas por una estación repetidora o alteradas por un campo electromagnético (una aspiradora funcionando en la habitación contigua, por ejemplo). De la misma forma, las señales endocrinas, que generalmente viajan por la sangre, pueden ser modificadas a lo largo de su camino. Así, la prostaglandina $F2\alpha$ es inactivada al pasar por el pulmón, el angiotensinógeno es activado por la renina en la circulación, y los andrógenos pueden ser transformados en estrógenos en los adipocitos, todo lo cual hará que la señal que finalmente llegue al receptor sea diferente a la transmitida por el emisor.

Por ello, al estudiar cualquier sistema hormonal debemos conocer las posibles modificaciones que la hormona puede sufrir desde el momento en que es secretada hasta que se une a su receptor en la célula blanco.

4.2.5. El receptor

El receptor es el elemento que recibe la señal e interpreta el mensaje contenido en ella. En el caso de un noticiero de televisión, el receptor es el canal correspondiente (canal 2) en un aparato televisor. Es importante tomar en cuenta que un aparato televisor tiene muchos canales distintos, pero solamente recibirá mensajes si el aparato se encuentra encendido y sintonizado en el canal que está transmitiendo el mensaje de interés. Es decir, el receptor tiene que estar activo.

En el caso de los mensajes endocrinos, los receptores son moléculas específicas en las células blanco. Estas moléculas son proteínas membranales o citoplásmicas (según el tipo de hormona) que tienen una alta afinidad por su hormona, lo que les permite registrar el mensaje a pesar de las bajísimas concentraciones en que las hormonas circulan. Además, los receptores tienen

una alta especificidad, lo que significa que solamente se unen a su propia hormona, y no a otras sustancias. Sin embargo, en ocasiones un determinado receptor puede recibir a diversas hormonas del mismo tipo, por ejemplo el receptor de estrógenos puede unir estradiol, estrona, estriol y diversos estrógenos sintéticos.

Generalmente existe un número limitado de moléculas receptoras en cada célula, por lo que se dice que los receptores son “saturables”, lo que significa que una vez que todos son ocupados la célula, ya no puede recibir más moléculas de esa hormona. Las células, en respuesta a diversos estímulos, pueden regular tanto el número de receptores presentes como la afinidad de dichos receptores por su hormona. Esto significa que la magnitud de la respuesta ante una determinada señal endocrina puede ser distinta en diferentes momentos de la vida de un animal, dependiendo del estado de los receptores presentes en los tejidos.

Evidentemente es muy importante conocer las características de los receptores de cada hormona, así como los factores que regulan la concentración y afinidad de dichos receptores en cada tipo celular.

4.2.6. El efector

El efector es el elemento encargado de responder a un mensaje llevando a cabo una acción. El efector es un elemento distinto al receptor. Así, en el caso de una transmisión de televisión, el receptor es el aparato sintonizado en el canal de interés, pero el efector es el televidente que es expuesto a la noticia. Es este televidente el que sufrirá un cambio que puede resultar en una acción. El cambio puede ser muy evidente (salir corriendo a comprar el producto en oferta) o simplemente potencial (al enterarse de una noticia no se produce ningún cambio aparente hasta que alguien le pregunta: ¿ya te enteraste?, en cuyo caso la respuesta será “sí” en lugar de “no”). Se debe tomar en cuenta que el efector puede estar ausente (un televisor encendido en una habitación vacía) o inactivado (el televidente se quedó dormido), en cuyo caso no se producirá una respuesta aunque el receptor esté presente y activo.

En el sistema endocrino, el efector generalmente es un sistema celular encargado de realizar una función determinada. En la mayoría de los casos se trata de sistemas enzimáticos cuya función es estimulada o inhibida por la unión de la hormona a su receptor. Por ejemplo, muchas hormonas actúan a través del sistema de AMP cíclico (AMPC). En este caso, la unión de la hormona a su receptor resulta en la activación de la enzima adenil ciclasa (o adenilato ciclasa), la cual transforma ATP en AMPC. La presencia del AMPC, a su vez, resulta en la activación de una enzima kinasa de proteínas, la cual, a su vez,

fosforila a otras enzimas, lo que las activa o inactiva según el caso. Así, se genera una cascada de eventos que finalmente resulta en un cambio en la actividad de la célula. Por ejemplo, la cadena de eventos que se produce en respuesta al AMPc cuando la célula de Leydig del testículo es estimulada por la unión de la LH a su receptor, resulta en la producción de testosterona, mientras que la estimulación de la célula muscular provocada por la unión de la adrenalina a su receptor, aunque también actúa a través del sistema de AMPc, resulta en una cadena de eventos que finalmente provoca la liberación de glucosa a partir de las reservas de glicógeno de la célula.

En los ejemplos anteriores, el AMPc es considerado como un mensajero intracelular, ya que el receptor capta la señal (hormona) en el exterior de la célula, lo que resulta en la producción de una nueva señal (cambio en las concentraciones de AMPc) en el interior de la célula.

Aunque el sistema de AMPc es utilizado por muchas hormonas, no es un sistema universal. Existen otros sistemas de mensajeros intracelulares, por ejemplo el sistema calcio-calmodulina, que las células utilizan para responder a las hormonas que no entran a las células. En otros casos, como las hormonas esteroides, la hormona atraviesa la membrana y entra a la célula, uniéndose a receptores presentes en el citoplasma, que posteriormente son translocados hacia el núcleo para intervenir en la regulación de la transcripción del genoma.

Independientemente del mecanismo de acción de una determinada hormona, su presencia finalmente desencadenará cambios en uno o más sistemas efectores de la célula, lo que permitirá que la célula responda al mensaje originalmente transmitido por el emisor.

Es evidente que para comprender la acción de cualquier hormona es indispensable conocer su mecanismo de acción, el papel de mensajeros intracelulares, y las características de los sistemas efectores. Se debe conocer también cuáles son los factores que afectan la transducción del mensaje, ya que una célula puede regular a sus sistemas efectores y de esta forma tener una respuesta mayor, menor o alterada ante el mismo mensaje.

4.2.7. La respuesta

Como se mencionó anteriormente, cualquier mensaje provoca una respuesta (aunque sea potencial) en el efector que lo recibe. En el caso del sistema endocrino, los mensajes hormonales viajan constantemente por el organismo y son captados por todas aquellas células que tengan receptores activos para esa hormona en ese momento (que estén sintonizadas en el canal adecuado). Una sola célula puede tener receptores para distintas hormonas, por lo que puede estar recibiendo diversos mensajes simultáneamente y cada uno de

estos mensajes puede afectar la respuesta a los otros mensajes. Por ejemplo, la presencia de progesterona puede alterar la respuesta hipofisiaria a la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Además, las células pueden estar recibiendo al mismo tiempo información no hormonal, como las concentraciones de diversos metabolitos en la circulación, o la recibida por vía nerviosa. La célula analiza toda esta información y con base en ella decide si debe responder al mensaje hormonal que está recibiendo, cómo debe responder, con qué intensidad y durante cuánto tiempo. La respuesta final puede ser una respuesta física inmediata (contracción, secreción de una hormona almacenada previamente), una modificación bioquímica también a corto plazo (síntesis de una determinada hormona u otra sustancia), o el inicio de una cadena de eventos que lleven a un cambio a largo plazo (división celular, diferenciación celular, crecimiento, muerte celular).

4.2.8. La retroalimentación

Cuando en un sistema de comunicación se produce una respuesta, en muchos casos incluye la generación de información que va a regresar al emisor, y que ahora constituirá uno más de los elementos que el emisor tomará en cuenta antes de transmitir un nuevo mensaje. Así, si en un noticiero se transmite el mensaje: "se requieren donadores de sangre tipo A positivo", la respuesta de algunos efectores (televidentes) que acudirán a donar sangre será conocida por el emisor, que así sabrá que ya no es necesario volver a transmitir el mensaje, o que lo hará tomar la decisión de transmitir un mensaje distinto: "se agradece a las personas que donaron sangre". Esta modificación del mensaje provocada por la respuesta del efector se conoce como retroalimentación.

En forma similar, en el sistema endocrino la respuesta de la célula efectora generalmente es reconocida por el emisor, que de esta forma modifica su mensaje. En la mayoría de los casos se produce una retroalimentación negativa, que consiste en que la respuesta del efector provoca una reducción en la intensidad del mensaje transmitido por el emisor. Así, cuando las células gonadotrópicas de la hipófisis secretan LH, las células del cuerpo lúteo responden secretando progesterona. La elevación en las concentraciones de progesterona circulante es captada por las células hipofisiarias, que responden reduciendo la secreción de LH, ya que la elevación en las concentraciones circulantes de progesterona les indica que el mensaje ha sido recibido. La retroalimentación negativa permite mantener las concentraciones hormonales dentro de límites estables.

Existe también la retroalimentación positiva, en la cual la primera hormona estimula la secreción de una segunda hormona, la que a su vez

estimula a la primera, con lo que se establece un círculo de estimulaciones. Un ejemplo de retroalimentación positiva es la que se produce poco antes de la ovulación entre la LH y el estradiol folicular. Las hormonas se estimulan mutuamente hasta que se alcanzan niveles tan elevados de LH que provocan la ovulación. El círculo de retroalimentación positiva termina cuando el pico preovulatorio de LH provoca cambios en el folículo que incluyen la pérdida de la capacidad de producción de estrógenos. Todo sistema de retroalimentación positiva debe tener un final abrupto en el cual se rompa el ciclo de estimulación mutua, ya que de no ser así se seguirían produciendo cada vez cantidades mayores de las dos hormonas, hasta que todos los recursos del organismo se utilizaran para ese fin.

4.3. CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE LAS HORMONAS

Existen cuatro grupos principales de hormonas: polipéptidos, esteroides, aminas y prostaglandinas. A su vez, dentro de cada grupo existen subdivisiones.

4.3.1. Hormonas polipeptídicas

Los polipéptidos son cadenas de aminoácidos. Cuando estas cadenas están constituidas por pocos aminoácidos se les denomina simplemente polipéptidos, pero cuando la cadena de aminoácidos es larga también se le llama proteína. Algunas hormonas de la reproducción que son polipéptidos son la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), constituida por 10 aminoácidos, la oxitocina, formada por 8 aminoácidos, y los péptidos opioides. Entre las proteínas encontramos a la prolactina, la hormona del crecimiento, los lactógenos placentarios, la relaxina, la insulina y los factores de crecimiento parecidos a la insulina (IGFs).

Existe otro grupo de hormonas polipeptídicas clasificadas como glicoproteínas. Se trata de proteínas que tienen carbohidratos unidos en covalencia en algunos de sus aminoácidos. Las hormonas glicoproteicas constituyen una familia de moléculas similares entre sí, que incluyen a la hormona luteinizante (LH), la hormona folículo estimulante (FSH), la hormona estimulante de la tiroides (TSH), la gonadotropina coriónica humana (hCG), y la gonadotropina coriónica equina (eCG). Todas ellas están constituidas por una subunidad alfa que es idéntica para todas las hormonas glicoproteicas de una determinada especie animal, y por una subunidad beta específica para cada hormona. Las dos subunidades proteicas se mantienen unidas a través de enlaces disulfuro. Se debe mencionar que los carbohidratos asociados a las glicoproteínas pueden ser distintos en diferentes edades, épocas del

año o estados fisiológicos. Esto se conoce como microheterogenicidad, y recientemente se le ha dado gran importancia a su estudio, ya que se ha reconocido que factores tales como la vida media de una hormona o su actividad biológica pueden ser modificados de acuerdo con el tipo de carbohidratos presentes en la molécula.

Todas las hormonas polipeptídicas poseen algunas características comunes. En primer lugar, se trata de moléculas hidrosolubles que no pueden atravesar las membranas celulares. Por esta razón se unen a receptores presentes en la cara externa de la membrana de la célula blanco, y requieren de un segundo mensajero intracelular, como el calcio o el AMPc, para llevar su mensaje al interior de la célula. Por otra parte, como no pueden atravesar las membranas, las hormonas de este grupo no se pueden administrar por vía dérmica, oral, rectal o intravaginal, ya que no podrían atravesar la piel o las mucosas intestinal, rectal o vaginal. Los polipéptidos son digeridos en el estómago, lo que también impide su administración oral. Otra característica que se debe tomar en cuenta es que las proteínas se pueden desnaturar por factores como el calor (son termolábiles), la congelación o los cambios de pH. Una proteína desnaturada pierde su función, por lo que se deben tener cuidados especiales durante su manejo para evitar la exposición a factores desnaturizantes.

4.3.2. Hormonas esteroides

Las hormonas esteroides son moléculas derivadas del colesterol. La célula esteroideogénica puede sintetizar ella misma el colesterol, obtenerlo de reservas intracelulares, o de la circulación asociado a lipoproteínas. En la célula esteroideogénica existen diversas enzimas que actúan secuencialmente sobre la molécula de colesterol, provocando cambios sucesivos hasta obtener la hormona final que será secretada, la cual dependerá de las enzimas que estén presentes y activas en dicha célula.

Existen cinco grupos principales de hormonas esteroides: los progestágenos, los estrógenos, los andrógenos, los glucocorticoides y los mineralocorticoides.

Los progestágenos son las hormonas que favorecen el desarrollo de la gestación. La principal hormona natural de este grupo es la progesterona. Existe una gran cantidad de progestágenos sintéticos utilizados en Medicina Veterinaria, tales como el acetato de fluorogestona (FGA), el acetato de melengestrol (MGA) y el norgestomet.

Los estrógenos son las hormonas femeninas responsables, entre otras cosas, de los signos de estro o receptividad sexual en las hembras. La mayor

parte de sus efectos están encaminados a lograr la fertilización del óvulo. El principal estrógeno natural es el estradiol 17β ; otros miembros del grupo son la estrona, el estriol, la equilina y la equilenina; estos dos últimos están presentes exclusivamente en yeguas gestantes. También existen numerosos estrógenos sintéticos, tales como el valerato de estradiol o el cipionato de estradiol.

Los andrógenos son las hormonas masculinas. Tienen una gran cantidad de efectos encaminados a lograr el éxito reproductivo del macho. El andrógeno principal es la testosterona; otros andrógenos naturales incluyen a la androstenediona y a la dihidrotestosterona. También existen numerosos andrógenos sintéticos.

Los glucocorticoides o corticosteroides tienen principalmente funciones metabólicas y de adaptación al estrés. El principal corticosteroide en la mayoría de las especies es el cortisol, mientras que en la rata y otros roedores lo es la corticosterona. En la reproducción, el papel de los corticosteroides es especialmente importante durante el parto y la lactancia. Los mineralocorticoides (aldosterona) se encargan de la regulación de los líquidos corporales, y no tienen especial importancia en la reproducción.

Como grupo, es importante tener en mente que las hormonas esteroideas son liposolubles, por lo que pueden atravesar libremente las membranas celulares. Por esta razón utilizan receptores intracelulares que se encuentran en el citoplasma de la célula blanco. También por ello se pueden administrar por vía oral, a través de la piel o a través de las mucosas rectal o vaginal. Son moléculas termoestables y no son digeridas en el estómago.

4.3.3. Aminas

Las aminas son moléculas derivadas de un aminoácido que es modificado por la acción de enzimas específicas. Existen dos tipos de hormonas aminas: las catecolaminas y las indolaminas. Las catecolaminas se derivan del aminoácido tirosina, e incluyen a la dopamina, la adrenalina y la noradrenalina. Las indolaminas se derivan del triptofano, e incluyen a la serotonina, la 5-hidroxitriptamina y la melatonina.

Las aminas son moléculas hidrosolubles que no pueden atravesar las membranas celulares y por lo tanto actúan a través de receptores membranales y segundos mensajeros intracelulares.

4.3.4. Prostaglandinas

Las prostaglandinas son sustancias derivadas del ácido araquidónico. La principal fuente de este ácido graso para la célula son los fosfolípidos de la membrana celular, que pueden ser liberados mediante la acción de una

enzima fosfolipasa. El ácido araquidónico es entonces transformado en prostaglandinas mediante la acción de la enzima ciclooxigenasa, para posteriormente ser transformada a diversas prostaglandinas específicas por otras enzimas. El tipo de prostaglandina producido por cada célula dependerá del complemento de enzimas presentes.

La prostaglandina más importante en la reproducción es la prostaglandina F2 α , responsable de la destrucción del cuerpo lúteo en la mayoría de las especies. También provoca contracciones uterinas, por lo que es importante para el parto, el transporte de los espermatozoides y la involución uterina después del parto.

4.4. NEUROENDOCRINOLOGÍA REPRODUCTIVA

Los procesos endocrinos de un organismo no pueden estar disociados de lo que ocurre en el resto del organismo ni de los cambios en el entorno. Por esta razón, el sistema endocrino y el sistema nervioso se comunican entre sí, formando en su conjunto el sistema neuroendocrino.

4.4.1. El hipotálamo

El hipotálamo es el órgano central del sistema neuroendocrino. Está constituido por una región del sistema nervioso central estratégicamente localizada para recibir información de todos los órganos de los sentidos, ya que directa o indirectamente recibe proyecciones nerviosas provenientes de la retina, los bulbos olfatorios primarios y secundarios, el oído, la piel y los órganos internos. Además, el hipotálamo tiene receptores hormonales, receptores para sustancias como la glucosa y los ácidos grasos, barorreceptores para registrar la presión sanguínea y termorreceptores para conocer la temperatura corporal.

Se puede decir por lo tanto que el hipotálamo conoce lo que está ocurriendo dentro y fuera del organismo, y por ello está en una inmejorable posición para tomar decisiones trascendentales para la vida del animal. Por ello, es en el hipotálamo donde se regulan las funciones vitales como el hambre, la sed y el sueño. También es el órgano encargado de regular una función vital para la supervivencia de cualquier especie: la reproducción.

A pesar de la gran importancia de sus funciones, el hipotálamo representa un pequeñísimo porcentaje de la masa encefálica. Se encuentra conformado por núcleos constituidos por agrupamientos de neuronas especializadas (figura 4.1). La mayoría de los núcleos son bilaterales, y están situados uno a cada lado del tercer ventrículo, que es una cavidad llena de líquido cefalorraquídeo que ocupa el centro del hipotálamo. En algunos casos las neuronas están un poco más dispersas, por lo que en lugar de núcleos se habla de áreas hipotalámicas.

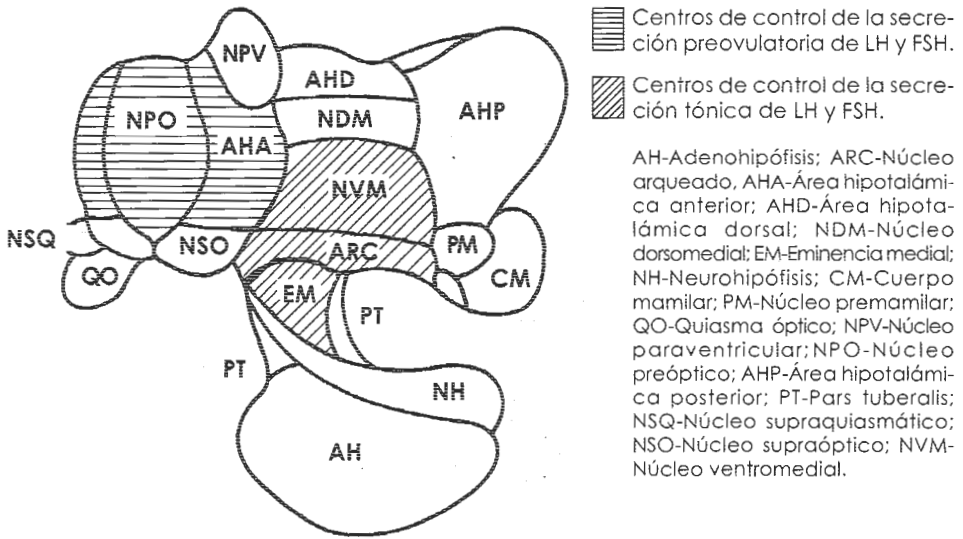


Figura 4.1. Representación esquemática de los núcleos hipotálamicos e hipófisis. (Adaptada de Hafez, E.S.E. *Reproduction in farm animals*, 4a ed. Lea and Febiger. Filadelfia, 1980)

Los distintos núcleos o áreas hipotálamicos tienen a su cargo diversas funciones, dependiendo del tipo de neuronas existentes en ellos. Así, en el área preóptica y área ventromedial del hipotálamo se localizan las neuronas productoras de GnRH, y en el núcleo arqueado se localizan neuronas productoras de dopamina. Estas sustancias, así como muchas otras neurohormonas producidas por el hipotálamo para estimular o inhibir la secreción de hormonas hipofisiarias, son liberadas por los axones de las neuronas en la eminencia media. En esa región, localizada entre el hipotálamo y la hipófisis, se origina el sistema porta hipotálamo-hipofisiario, que consiste en una red capilar que permite el paso de sustancias desde la eminencia media hasta la adenohipófisis sin pasar por la circulación general. De esta manera se evita que las neurohormonas sean diluidas antes de llegar a su destino. Adicionalmente, este sistema porta permite flujo retrógrado de sustancias adenohipofisiarias, estableciéndose así la retroalimentación de onda corta hacia el hipotálamo (figura 4.2).

Entre las neurohormonas hipotálamicas más importantes para la reproducción podemos citar al GnRH, a la dopamina, y a la hormona liberadora de corticotropina (CRH), todas las cuales llegan a la adenohipófisis por medio del sistema porta hipotálamo-hipofisiario. Adicionalmente, el hipotálamo secreta otra hormona hipotalámica importante para la reproducción: la oxitocina. Sin embargo, esta hormona, al igual que la vasopresina, no es liberada en la eminencia media, sino que los axones de las neuronas hipotálamicas que la pro-

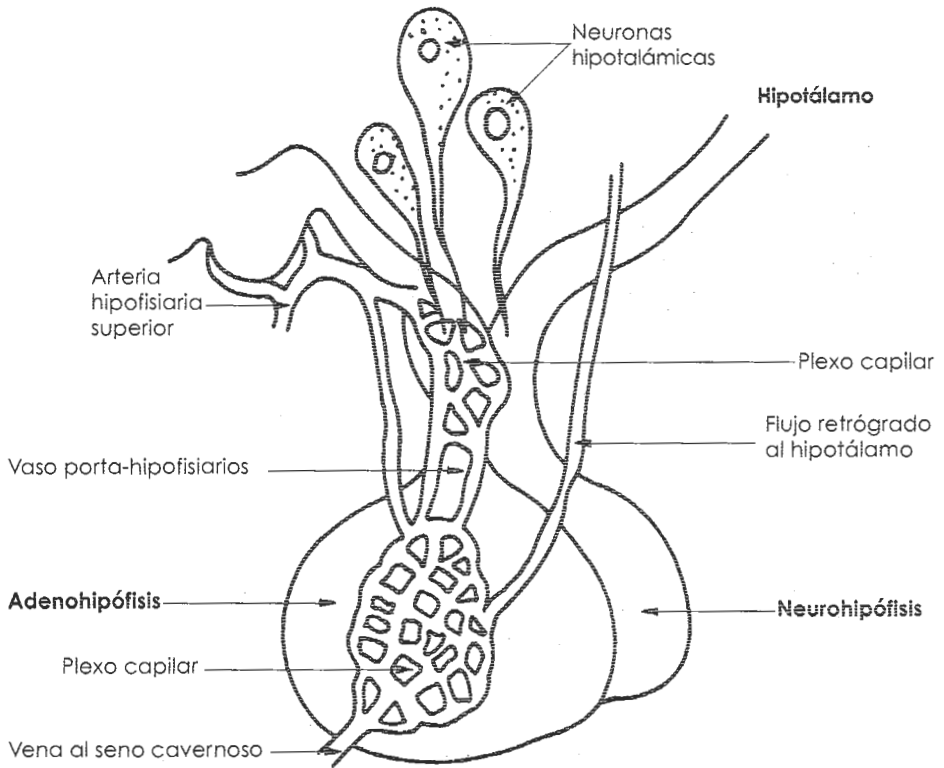


Figura 4.2. Representación esquemática de las células nerviosas hipotálámicas liberando neurohormonas a los vasos porta y hacia la adenohipófisis. Los puntos en las neuronas representan partículas de neurohormonas. (Adaptada de Hafez, E.S.E. *Reproduction in farm animals*, Lea & Febiger, Filadelfia, 1980)

ducen se prolongan hasta la neurohipófisis, donde liberan la hormona directamente hacia la circulación general.

4.4.1.1. GnRH

Como su nombre lo indica, el GnRH controla la liberación de las dos gonadotropinas hipofisarias: la LH y la FSH. En la hembra el GnRH es secretado en forma de pulsos, cuya frecuencia puede variar dependiendo de la época del año, etapa del ciclo estral, edad del animal y estado nutricional, entre otros. Dependiendo de la frecuencia de esta secreción tónica se produce un mayor o menor desarrollo folicular. Adicionalmente, en forma cíclica se produce la secreción de un pico preovulatorio de GnRH, el cual es inducido por los estrógenos provenientes de folículos maduros resultando en la secreción de un pico preovulatorio de LH. En la rata existen dos áreas distintas para los dos tipos de secreción de GnRH, ya que el secretado en forma tónica proviene de neuronas localizadas en el área ventromedial del hipotálamo, mientras que el pico preovulatorio se origina en neuronas del área

preóptica. En cambio, en los primates el hipotálamo ventromedial es el encargado tanto de la producción tónica como de la producción cíclica de GnRH.

En el macho la producción tónica de GnRH estimula la secreción de LH y FSH necesarias para mantener un adecuado funcionamiento testicular. En el macho no existe la secreción cíclica. El GnRH actúa principalmente a nivel adenohipofisario, aunque puede tener funciones importantes a nivel cerebral, mediando procesos de receptividad sexual, así como algunos efectos directos a nivel gonadal.

En forma terapéutica, el GnRH se utiliza como un inductor de la ovulación y del desarrollo folicular y, en la vaca, por ejemplo, ha probado su efectividad en el tratamiento de quistes foliculares.

4.4.1.2. Dopamina

La dopamina es un neurotransmisor utilizado en diversas áreas del sistema nervioso central. Sin embargo, el núcleo arqueado del hipotálamo tiene neuronas dopaminérgicas que secretan esta sustancia hacia la circulación portal de la eminencia media, por lo que en este caso la dopamina actúa como una neurohormona que tiene como función la inhibición de la secreción de prolactina por parte de las células lactotrópicas de la adenohipófisis. En otras palabras, la dopamina actúa como hormona inhibidora de la prolactina. Cuando existen condiciones que requieren la secreción de prolactina, como ocurre durante la lactancia, se producen cambios en el sistema nervioso que resultan en la inhibición del tono de secreción de dopamina, por lo que la prolactina se libera de la represión a la que había estado sujeta. Por esta razón, la prolactina es la única hormona hipofisaria que se secreta en mayores cantidades cuando la hipófisis es separada del hipotálamo.

4.4.1.3. CRH

La hormona liberadora de la adenocorticotropina es un neuropéptido producido por neuronas hipotalámicas que lo liberan en la eminencia media para que llegue a través del sistema porta a las células corticotrópicas de la adenohipófisis. Allí provoca la secreción de la hormona adenocorticotrópica (ACTH), que a su vez viaja a la corteza adrenal para estimular la secreción de cortisol. Existen muchas condiciones, la mayoría de ellas de tipo metabólico como la hipoglucemia, que provocan la secreción de CRH. También se secreta en respuesta a condiciones estresantes. En el caso de la reproducción, el proceso de parto se inicia con la liberación de CRH por parte del hipotálamo fetal, lo que inicia una cascada de eventos que culminan con la expulsión del feto. También se secreta CRH durante la lactancia, lo que induce la secre-

ción del cortisol requerido para el correcto funcionamiento de la glándula mamaria.

4.4.1.4. Oxitocina

La oxitocina es producida en grandes neuronas de los núcleos supraópticos y paraventriculares del hipotálamo, que constituyen el sistema magnocelular del hipotálamo. La oxitocina es secretada durante el amamantamiento en respuesta al estímulo provocado por la succión de la cría. También se puede liberar mediante un reflejo condicionado. Esta hormona viaja hasta la glándula mamaria, donde provoca la contracción de las células mioepiteliales requerida para la bajada de la leche. La oxitocina también es secretada en respuesta a la estimulación mecánica de los genitales femeninos, especialmente del cérvix. La oxitocina secretada en este caso provoca contracciones uterinas importantes para el proceso del parto, transporte espermático e involución uterina. La oxitocina también es importante para provocar en la madre el establecimiento del vínculo materno con su cría.

4.4.2. Hipófisis

La hipófisis, o glándula pituitaria, está constituida por la hipófisis anterior o adenohipófisis, la hipófisis posterior o neurohipófisis, y la hipófisis intermedia.

La hipófisis anterior es una estructura de origen epitelial derivada embriológicamente del epitelio del paladar. Posee células especializadas en la producción de gonadotropinas (gonadotropos), prolactina (lactotropos), hormona del crecimiento (somatotropos), hormona estimulante de la tiroides (tirotropos) y ACTH (corticotropos). Además produce otras sustancias, como péptidos opioides y hormona estimulante de los melanocitos. Todas estas células están sujetas a regulación hipotalámica por medio de hormonas liberadoras y/o inhibitoras que llegan a la adenohipófisis en la circulación portal.

La neurohipófisis es una estructura de tipo nervioso compuesta principalmente por prolongaciones de neuronas hipotalámicas cuyos axones se extienden hasta la hipófisis posterior, donde vierten sus productos de secreción hacia la circulación general. Las principales hormonas secretadas en este sitio son la oxitocina y la vasopresina.

La hipófisis intermedia es poco importante en mamíferos, aunque en otros vertebrados es muy importante su secreción de hormona estimulante de los melanocitos, que regula los cambios en la pigmentación de la piel.

4.4.2.1. Gonadotropinas

Como su nombre lo indica, estas hormonas tienen la función principal de estimular el funcionamiento de las gónadas, tanto masculinas como femeninas.

En la hembra, las gonadotropinas producen de manera secuencial el crecimiento folicular, la maduración de los ovocitos, la secreción de estrógenos, la ovulación, el desarrollo del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona. Durante la mayor parte del ciclo las gonadotropinas son secretadas en forma tónica, que consiste en la secreción de pequeños pulsos liberados a intervalos regulares. En esta fase la hormona luteinizante (LH) actúa exclusivamente sobre las células de la teca interna del folículo ovárico, en las que estimula la producción de andrógenos, mientras que la FSH se requiere para estimular en las células de la granulosa la conversión de los andrógenos a estrógenos. Así, ambas hormonas son necesarias para que se produzcan los estrógenos.

Los estrógenos producidos por el folículo, actuando en conjunto con la FSH, promueven el desarrollo del propio folículo, estimulando la mitosis de las células de la granulosa y la secreción de líquido folicular. Por otra parte, la FSH estimula en el folículo la secreción de inhibina, la cual retroalimenta negativamente sobre la hipófisis, inhibiendo la secreción de FSH. Así, cuando el folículo se encuentra en estadios avanzados de desarrollo, se produce una reducción en las concentraciones circulantes de FSH. Sin embargo, puede continuar su desarrollo porque en ese momento han aparecido en las células de la granulosa receptores para LH, la cual se encarga de estimular la maduración final de folículo.

Conforme las células esteroideogénicas del folículo aumentan en número y actividad, los estrógenos son producidos en cantidades crecientes hasta que alcanzan un umbral que retroalimenta positivamente sobre el hipotálamo, provocando la liberación de un gran pico de GnRH, que a su vez induce la secreción del pico preovulatorio de LH. Como respuesta a este pico, el folículo sufre una serie de cambios que resultan en la ovulación. Adicionalmente, el pico preovulatorio de LH inicia el proceso de luteinización de las células foliculares. Después de la ovulación se mantiene una secreción tónica de pequeños pulsos de LH que son necesarios para completar la formación del cuerpo lúteo y estimular la secreción de progesterona.

En el macho la LH estimula la producción de testosterona por la célula de Leydig, mientras que la FSH estimula en las células de Sertoli la conversión de estos andrógenos a estrógenos, la secreción de inhibina, y la producción de la proteína ligadora de andrógenos (ABP). Tanto la LH como la FSH son necesarias para que se inicie la espermatogénesis.

4.4.2.2. *Prolactina*

La prolactina es una hormona proteica formada por casi 200 aminoácidos colocados en una secuencia parecida a la de la hormona del crecimiento y los lactógenos placentarios, por lo que forman una familia hormonal.

Inicialmente esta hormona fue descubierta como una sustancia que inducía la secreción láctea. Sin embargo, actualmente se sabe que tiene diversos efectos, entre los que se incluyen la inducción de conducta materna, la regulación de la muda de pelo o plumaje, y efectos sobre las células gonadales. En los roedores la prolactina es indispensable para la formación del cuerpo lúteo, lo que no ocurre en los animales domésticos, que solamente requieren de LH.

Los estrógenos presentes durante el parto inducen la secreción de prolactina, la cual estimula la síntesis de caseína y lactosa en las células alveolares de la glándula mamaria, iniciando así la producción de leche para posteriormente estimular a la glándula mamaria para que, producto del amamantamiento, induzca la secreción de la prolactina necesaria para mantener la lactancia.

4.4.2.3. *Otras hormonas adenohipofisarias*

Existen otras hormonas hipofisarias que tienen efectos indirectos sobre la reproducción: la hormona del crecimiento o somatotropina (STH) estimula el crecimiento de todos los tejidos y actúa sobre el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Dependiendo del estado energético del animal, la somatotropina estimula la síntesis de factores de crecimiento parecidos a la insulina (IGFs), los cuales estimulan la esteroidogénesis y el desarrollo folicular. La hormona adenocorticotrópica (ACTH) induce la secreción y liberación de corticosteroides, que además de tener funciones metabólicas son muy importantes para la regulación del parto y la lactancia.

4.4.3. **Glándula pineal**

Esta glándula es muy importante en la regulación de la estacionalidad reproductiva. La principal hormona pineal es la melatonina, la cual es secretada durante las horas de oscuridad. La información luminosa proveniente de la retina llega a la hipófisis a través del ganglio cervical superior. A través de un complejo sistema que involucra la existencia de ritmos de fotosensibilidad, la información proporcionada por las concentraciones de melatonina indica al animal la hora del día y la época del año en que se encuentra.

4.4.4. **Hormonas gonadales**

En general, las principales hormonas producidas en la gónada son hormonas esteroides. Este grupo hormonal está constituido por sustancias de naturaleza lipídica derivadas del colesterol. En todas las células esteroidogénicas el colesterol debe ser transformado en pregnenolona como primer paso de la ruta biosintética. Por esta razón, dicha transformación es estrechamente regulada. Una vez producida la pregnenolona, puede sufrir transformaciones

adicionales hasta formar las diversas hormonas esteroideas. La identidad de la hormona producida finalmente por la célula dependerá de las enzimas presentes en la misma. La figura 4.3 ilustra las principales rutas

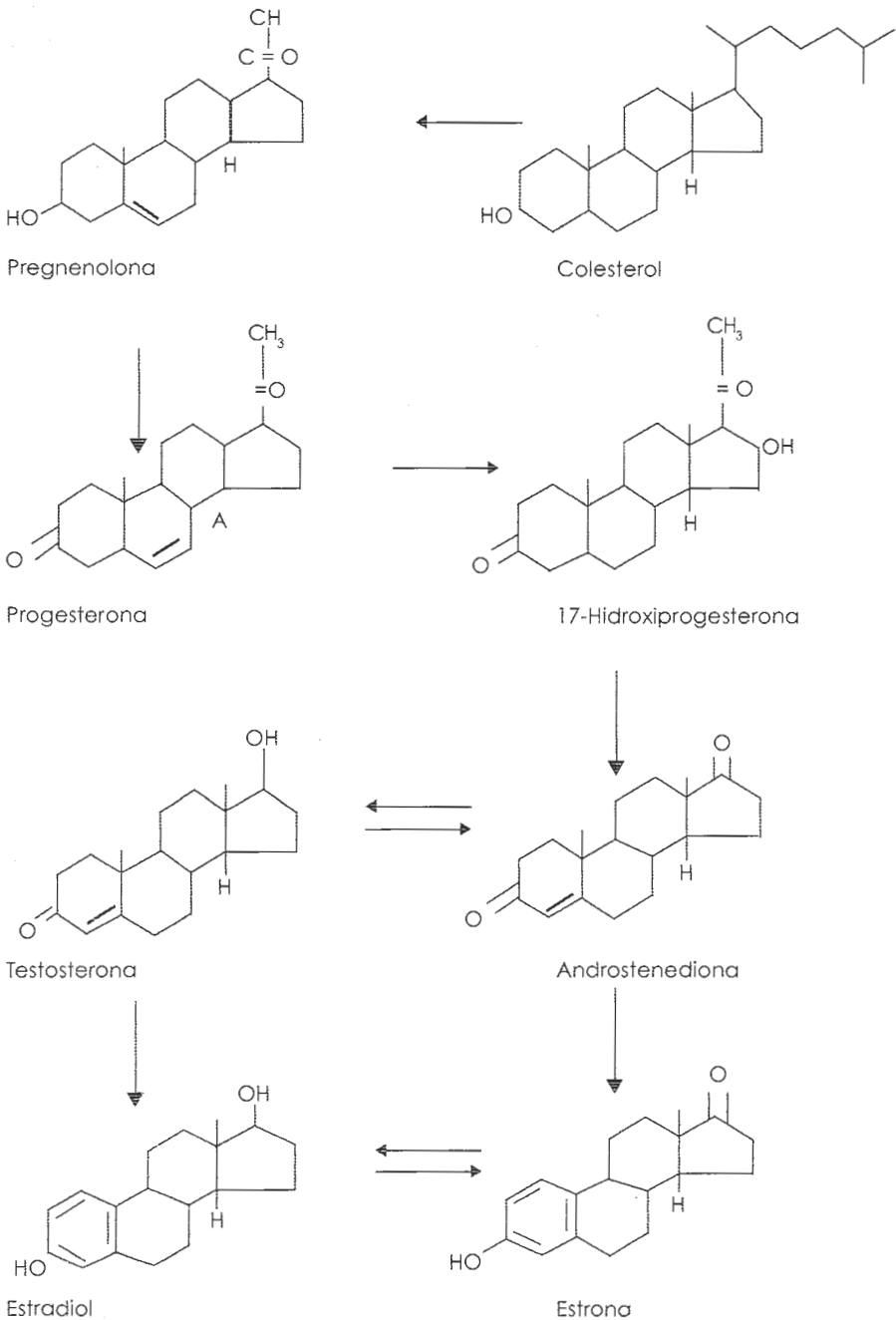


Figura 4.3. Esteroidogénesis. (Adaptada de Hafez, E.S.E. *Reproduction in farm animals*. Lea and Febiger, Filadelfia, 1980)

esteroidogénicas. Como puede observarse, en general los primeros esteroides formados son progestágenos, los cuales pueden sufrir transformaciones adicionales para cambiar a andrógenos, los cuales pueden, a su vez, ser aromatizados para formar estrógenos. De esta manera, los andrógenos (hormonas masculinas), no son exclusivas de los machos, ni los estrógenos (hormonas femeninas) son exclusivas de las hembras.

Otro aspecto importante es que los esteroides circulan en el torrente sanguíneo en forma conjugada, esto es, se encuentran unidos a proteínas transportadoras específicas.

4.4.4.1. Estrógenos

En la hembra los estrógenos son producidos en las células de la granulosa del folículo ovárico a partir de andrógenos producidos previamente por las células de la teca interna.

Podemos decir que la mayoría de los efectos de los estrógenos en la hembra están encaminados a lograr la concepción. Así, los estrógenos tienen efectos físicos y conductuales orientados a atraer al macho, tales como el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de la hembra, el enrojecimiento de la vulva durante el estro en algunas especies, la producción de ferohormonas, la conducta de lordosis, o la búsqueda activa del macho. También promueven la conducta de receptividad sexual necesaria para permitir la cópula. Por otra parte, los estrógenos preparan a los órganos genitales femeninos para la cópula y el transporte exitoso de los espermatozoides hacia el oviducto. Así, los estrógenos inducen un engrosamiento del epitelio vaginal, un aumento de las defensas a nivel genital, la producción de moco cervical, la apertura del cérvix, y el incremento en las contracciones uterinas. Al mismo tiempo, los estrógenos estimulan la foliculogénesis y son esenciales para desencadenar el pico preovulatorio de LH, permitiendo de esta forma que el óvulo esté presente en el oviducto cuando llegan los espermatozoides.

4.4.4.2. Progesterona

La progesterona es producida principalmente por las células del cuerpo lúteo, aunque también es producida por la placenta de algunas especies. Esta hormona actúa sinérgicamente con los estrógenos en varias funciones reproductivas que incluyen el crecimiento del epitelio glandular, del útero y de la glándula mamaria. Sin embargo, podemos considerar que la mayoría de las funciones de la progesterona están encaminadas a culminar exito-

samente la gestación una vez lograda la concepción. Así, la progesterona inhibe la conducta sexual, que puede ser riesgosa para una gestación ya establecida, inhibe las contracciones uterinas, provoca el cierre del cérvix y estimula a las glándulas endometriales a secretar productos llamados leche uterina o histotrofo, sustancia que permite la nutrición del embrión antes de implantarse. La progesterona retroalimenta negativamente sobre la secreción de GnRH y gonadotropinas, inhibiendo el desarrollo folicular y la ovulación. Por esta razón, la progesterona y los progestágenos sintéticos son ampliamente utilizados para el control artificial de la reproducción.

4.4.4.3. Andrógenos

Los andrógenos son producidos por las células de Leydig en el macho y las células de la teca interna en la hembra. En el macho los efectos de los andrógenos están encaminados a lograr que éste tenga el mayor número de hijos posible. Para ello, no solamente estimulan la espermatogénesis y el funcionamiento de los órganos reproductivos, sino que provocan una serie de cambios físicos y conductuales orientados a atraer a las hembras (caracteres sexuales secundarios, conductas de cortejo, producción de ferohormonas), copular con ellas (libido, conductas de acercamiento, exploración, monta, intromisión y eyaculación) y competir con otros machos por las hembras (efectos anabólicos sobre la musculatura, conducta de agresividad, supremacía territorial y mejores cornamentas, entre otros). Aunque en la hembra los efectos de los andrógenos son menos evidentes, en algunas especies son necesarios para una conducta sexual adecuada.

4.4.4.4. Inhibina

La inhibina es una hormona de naturaleza glicoproteica producida por las células de Sertoli del macho y las células de la granulosa de la hembra. En ambos casos, la secreción de la hormona es estimulada por la FSH. El principal efecto de la inhibina se presenta a nivel hipofisiario, en donde precisamente inhibe la secreción de FSH. De esta manera, la inhibina constituye un mecanismo de retroalimentación negativa específica sobre la secreción de FSH, que permite que en ciertos momentos la hipófisis deje de secretar FSH a pesar de estar siendo estimulada por el GnRH, al mismo tiempo que la secreción de LH se mantiene debido a que esta hormona no es reprimida por la inhibina.

La inhibina, junto con los estrógenos, juega un papel primordial en la determinación de los índices de ovulación y en el establecimiento de la dominancia folicular.

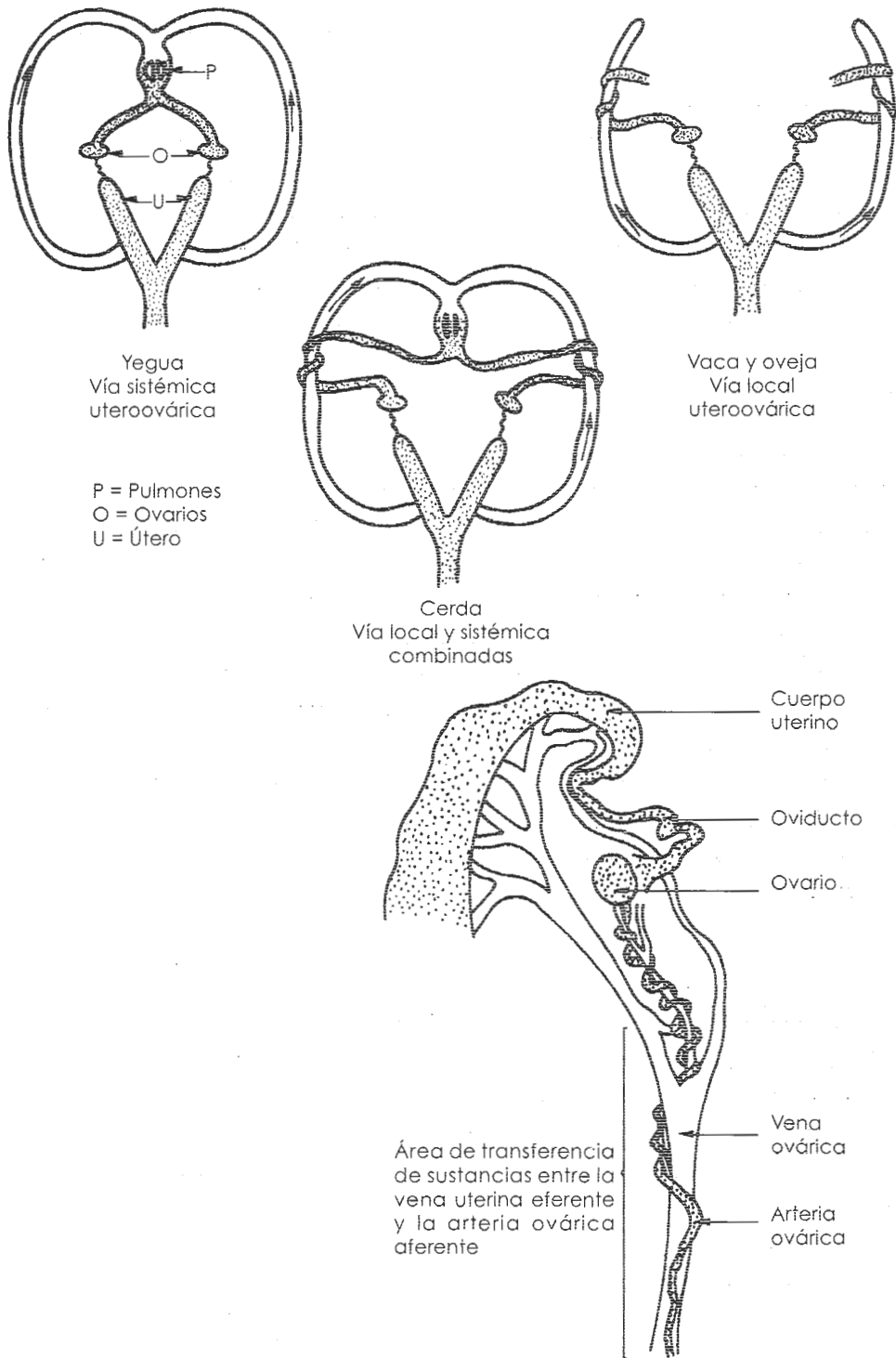


Figura 4.4. Circulación uteroovárica en diferentes especies. [Adaptada de Ginther, O.J. *Veterinary scope*. 20 (1) 1976]

4.4.4.5. Otras hormonas ováricas

En los ovarios de las hembras de algunas especies se producen diversas hormonas de naturaleza peptídica en distintos momentos del ciclo reproductivo. Por ejemplo, en el cuerpo lúteo de los rumiantes se produce oxitocina, que juega un importante papel en la regresión del cuerpo lúteo al final del diestro; en los cuerpos lúteos de la cerda y la rata gestantes se produce relaxina, necesaria para una gestación y parto normales, y en los folículos de la mayoría de las especies se produce IGF-1 para estimular el propio desarrollo folicular y la esteroidogénesis.

Adicionalmente, en el ovario se producen prostaglandinas en diversos momentos, como durante el proceso de ovulación o al tiempo de la destrucción del cuerpo lúteo en primates.

4.4.5. Hormonas uterinas

En la mayoría de las especies domésticas, la regresión del cuerpo lúteo es provocada por la prostaglandina F2 alfa (PGF2 α) de origen uterino.

La PGF2 α es producida en el útero alcanzando la circulación ovárica, y por lo tanto lútea, por diferentes vías según la especie. En rumiantes existe una estrecha asociación entre la vena uterina y la arteria ovárica, lo que permite que la hormona presente en la circulación venosa uterina se difunda a través de las paredes de los vasos hacia la sangre arterial que se dirige hacia el cuerpo lúteo. Este mecanismo local de contracorriente permite que la prostaglandina llegue al cuerpo lúteo sin pasar por la circulación general, donde sería rápidamente destruida por potentes enzimas presentes en los pulmones. En cambio, en el caso de la yegua, la PGF2 α uterina tiene que seguir la vía sistémica para alcanzar el ovario, ya que en esta especie no existe la estrecha relación anatómica entre vena uterina y arteria ovárica. En la cerda se ha comprobado tanto la vía local como la sistémica (figura 4.4).

4.4.6. Hormonas placentarias

Las hormonas placentarias incluyen a la gonadotropina coriónica equina (eCG), la gonadotropina coriónica humana (hCG) y los lactógenos placentarios.

4.4.6.1. Gonadotropina coriónica equina (eCG)

Esta hormona, antes denominada gonadotropina sérica de yegua gestante (PMSG), es secretada por las copas endometriales de la yegua gestante. Estas estructuras uterinas se forman a partir de células trofoblásticas especia-

lizadas que se separan del corion e invaden el endometrio materno a partir del día 30 de gestación, proliferando para formar estructuras macroscópicas muy activas. Las concentraciones de eCG en la circulación de la yegua aumentan a partir del día 35 de la gestación y se mantienen elevadas hasta el día 120, o incluso hasta el 150, cuando desaparecen debido al rechazo inmunológico de las copas endometriales por parte de la madre. La eCG tiene la misma secuencia de aminoácidos que la LH equina, por lo que en esta especie actúa esencialmente como LH, estimulando la ovulación de folículos adicionales y la función de los cuerpos lúteos de la gestación.

Sin embargo, la eCG del equino, al igual que la LH de esta especie, tienen un marcado parecido a la FSH de especies distintas a la equina, por lo que en ellas la eCG se utiliza farmacológicamente para estimular el desarrollo folicular, incrementar los índices de ovulación, e inclusive para provocar superovulación en programas de transferencia de embriones.

4.4.6.2. *Gonadotropina coriónica humana (HCG)*

Es sintetizada por las células del sincitiotrofoblasto de la placenta en la mujer gestante y puede ser detectada a partir de los ocho días de la gestación. La gonadotropina coriónica humana es muy parecida a la LH, por lo que estimula la función del cuerpo lúteo y de esta manera es responsable del reconocimiento materno de la gestación en la mujer. Debido a sus efectos de LH, la HCG se utiliza comercialmente para inducir la ovulación en diversas especies domésticas. También se ha utilizado para el tratamiento de quistes ováricos en la vaca. En el humano su detección por medios inmunológicos es muy importante para el diagnóstico temprano de la gestación.

4.4.6.3. *Lactógenos placentarios (PL)*

Estas hormonas se han detectado en el humano, la cabra, la oveja, la vaca y otras especies. Pertenecen a la misma familia que la somatotropina y la prolactina, y tienen efectos parecidos a los de ambas hormonas. En los rumiantes son producidas por células binucleadas que entre los días 14 y 16 de la gestación se desprenden del corion y colonizan el endometrio materno. Su mayor concentración se encuentra en el último trimestre de la gestación y sus principales funciones son la inducción del desarrollo de la glándula mamaria y la placenta.

4.5. LITERATURA RECOMENDADA

Becker, J.B., Breedlove, M., Crews, D., McCarthy, M.M. 2002. *Behavioral endocrinology*. 2ª ed., MIT Press.

- Bittar, E.E., Bittar, N. 1998. *Reproductive endocrinology and biology*. Elsevier.
- Burnstein, K.L. 2002. *Steroid hormones and cell cycle regulation*. Kluwer Academic Publishers.
- Gore, A.C. 2002. *GnRH: The master molecule of reproduction*. Kluwer Academic Publishers.
- Melmed, S. 2002. *The pituitary*. 2a ed., Blackwell Science Inc.
- Parhar, I.S. 2002. *Gonadotropin-releasing hormone: Molecules and receptors*. Elsevier.
- Pineda, M.H., Dooley, M.P. 2002. *McDonald's veterinary endocrinology and reproduction*. 5^a ed., Iowa State University Press.
- Sanders, S. 2003. *Crash course: Endocrine and reproductive systems*. Mosby.
- Squires, E.J. 2003. *Applied animal endocrinology*. CABI Publishing, CAB International.

7. TRANSPORTE DE GAMETOS Y FERTILIZACIÓN*

MA. DE LOURDES JUÁREZ MOSQUEDA / JAVIER VALENCIA

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. TRANSPORTE DE LOS GAMETOS
- 7.3. CAPACITACIÓN
- 7.4. FERTILIZACIÓN
- 7.5. SEGMENTACIÓN
- 7.6. CONCEPCIONES GEMELARES
- 7.7. TRANSPORTE DEL EMBRIÓN EN EL APARATO REPRODUCTIVO
- 7.8. LITERATURA RECOMENDADA

7.1. INTRODUCCIÓN

La fertilización es el proceso por el cual el gameto masculino (espermatozoide) y el femenino (óvulo) se unen para desarrollar un nuevo individuo. La unión de ambos gametos tiene lugar en la ampolla o tercio superior del oviducto. Sin embargo, antes de que el espermatozoide pueda fertilizar al óvulo, éste debe sufrir una cascada de cambios bioquímicos y fisiológicos que facilitan su unión y penetración en el óvulo.

Después de la fertilización, el óvulo fecundado (huevo o cigoto) desciende del oviducto al útero, donde tendrá lugar su desarrollo hasta el nacimiento.

En este fenómeno se centra todo el proceso de la reproducción de los seres de reproducción sexual y se puede considerar como el punto de partida en la producción animal.

7.2. TRANSPORTE DE LOS GAMETOS

7.2.1. Transporte del óvulo

La ovulación puede ser inducida por el acto del coito (animales de ovulación inducida), u ocurrir espontáneamente durante el ciclo estral (animales de ovulación

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Transporte de gametos y fertilización", elaborado por Saúl Fernández-Baca.

espontánea). En cualquiera de los dos casos, se requiere de la liberación de LH por la pituitaria anterior. La LH, además de inducir una gran cantidad de cambios en el folículo, provoca que el ovocito reasuma la meiosis.

En la mayoría de los mamíferos el óvulo es liberado en la metafase de la segunda división meiótica y permanecerá en este estado hasta el momento de la fecundación. Sin embargo, en la perra y en la zorra el óvulo es liberado aún como ovocito primario y no tendrá la capacidad de ser fecundado hasta 60 horas después de la ovulación, cuando la primera división meiótica ocurra. Cuando la meiosis se complete (al momento de la fecundación), el óvulo tendrá un solo juego del número de cromosomas de su especie y la mitad del contenido de DNA.

Al salir del ovario, el óvulo sigue rodeado por un conjunto de células foliculares que forman dos arreglos: el cúmulo ovígeno y la corona radiada (en contacto con la zona pelúcida). La posición adecuada del ovario en relación con el infundíbulo facilita el curso que debe seguir el óvulo. El infundíbulo, mediante la acción vigorosa de los cilios de la fimbria, atrapa al óvulo para conducirlo hacia su lumen. Este mecanismo es muy efectivo, ya que los óvulos rara vez caen en la cavidad abdominal. La captura del óvulo es facilitada por la presencia del cúmulo ovígeno, ya que le proporciona una mayor superficie sobre la cual los cilios pueden actuar. También el cúmulo ovígeno es de suma importancia para el transporte normal del óvulo por la región ampular del oviducto. El transporte del óvulo se da por el movimiento de los cilios del epitelio del oviducto y por la contracción de las células musculares del mismo. Ambos movimientos dependen de la presencia de estrógenos y progesterona. Dependiendo de la especie, el transporte por la ampolla puede tomar de unos pocos minutos a varias horas; sin embargo, en la mayoría de las especies el transporte por todo el oviducto es de aproximadamente tres días, esté o no fertilizado el óvulo. La yegua constituye una excepción, puesto que en ella el óvulo no fecundado puede permanecer por semanas o meses en el oviducto. Las secreciones del oviducto juegan un papel importante en el mantenimiento del óvulo durante su transporte.

Cuando el óvulo llega al sitio de fertilización, los espermatozoides se encuentran ahí esperándolo, puesto que en la mayoría de las especies, la receptividad sexual se inicia varias horas antes de la ovulación. Sin embargo, en el ser humano no existe tal relación, y en muchos casos los óvulos deben esperar la llegada del espermatozoide. La vida fértil del óvulo es relativamente corta (cuadro 7.1). Después de unas horas empieza su envejecimiento, cambio que puede afectar seriamente el desarrollo embriológico posterior. Una vez en el sitio de fertilización, la capa más externa de células que rodean al óvulo se pierden rápidamente (cuadro 7.2), en parte por la acción mecánica de los cilios y el movimiento de los músculos del oviducto y por otra por la presencia de la hialuronidasa, una enzima liberada del acrosoma del espermatozoide.

Cuadro 7.1. Vida fértil del espermatozoide y del óvulo, y el tiempo del desarrollo embrionario*

ESPECIE	VIDA FÉRIL (HORAS)				DÍAS DESPUÉS DE LA OVULACIÓN		
	ESPERMATOZOIDE	ÓVULO	2 CÉLULAS	8 CÉLULAS	EN EL ÚTERO	BLASTOCISTO	NACIMIENTO
Bovino	30-48	20-24	1	3	3-3.5	7-8	278-290
Equino	72-120	6-8	1	3	4-5	6	335-345
Humana	28-48	6-24	1.5	2.5	2-3	4	252-274
Conejo	30-36	6-8	1	2.5	3	4	30-32
Ovino	30-48	16-24	1	2.5	3	6-7	145-155
Suino	24-72	8-10	16-20 h	2.5	2	5-6	112-115

*Estas estimaciones son aproximadas, ya que el ritmo de desarrollo está sujeto a una variación considerable tanto entre individuos como entre razas. Además se carece de información exacta del tiempo de ovulación. Adaptado de: McLaren, A. 1980. Fertilization Cleavage and Implantation. En: *Reproduction in farm animal*. Hafez. E.S.E (ed.) 4a. ed., Lea & Febiger. Philadelphia, 1980.

Cuadro 7.2. Tiempo, en relación con la ovulación, de desnudamiento, entrada y estadio celular del huevo al entrar al útero

ESPECIE	DESNUDAMIENTO DEL HUEVO DESPUÉS DE LA OVULACIÓN	ENTRADA AL ÚTERO DESPUÉS DE LA OVULACIÓN	ESTADIO CELULAR A SU ENTRADA
	(HORAS)	(HORAS)	
Rata	Rápido	95-100	8-16
Ratón	12	72	16-32
Cuyo	24+	80-85	8
Conejo	6 8-10 ^a	60	Mórula
Canino	48 o más	168-192	16-32
Felino	48 o más	121-161 1/2	Mórula tardía
Equino	<24	98+ ^b	16
Porcino	<24	28-48	4
Bovino	9-14	72	8-16
Caprino	<30 1/2	85-98	12
Ovino	0-5	70-80	8-16
Humano	≈24	80	-

^a No fecundado.

^b Excepto huevo no fertilizado. Adaptado de Austin, C. R. y Short, R. V. Sperm and egg transport. En: *Reproduction in mammals: 1 Germ cells and fertilization*. 2a. ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

El transporte del óvulo puede fallar en diferentes puntos:

1. Puede quedarse en la superficie del ovario, y si es fertilizado allí, se desarrolla una gestación ectópica.

2. Puede caer en la cavidad peritoneal, generalmente después de su fertilización en el ovario, e intentar desarrollarse adosado a uno de los órganos abdominales (gestación abdominal).
3. Otras veces, el óvulo fecundado se queda en el oviducto en lugar de migrar hacia el útero (gestación tubárica).

Las preñeces ectópicas son sumamente raras en los animales domésticos.

7.2.2. Transporte de los espermatozoides

Los espermatozoides deben recorrer una distancia considerable desde su formación en el testículo hasta el sitio donde ocurre la fertilización. Sin embargo, la llegada de los espermatozoides totalmente maduros y funcionalmente competentes al sitio de fertilización no es un evento fortuito, es la culminación de un concierto de interacciones entre las células espermáticas y el tracto reproductivo que optimiza la probabilidad de la concepción. Por ello los espermatozoides fertilizantes, que comprenden sólo una pequeña fracción de los inseminados, al llegar al sitio de fertilización han completado un largo y arduo viaje, durante el cual han superado las extraordinarias barreras internas del tracto femenino y han sufrido los cambios fisiológicos requeridos para iniciar y completar la fertilización. Al ser liberados de los túbulos seminíferos, los espermatozoides inmóviles casi por completo son transportados pasivamente a la red testicular. La red testicular es una estructura ramificada en la cual los túbulos seminíferos desembocan y se unen al epidídimo a través de 10 a 20 conductos eferentes que se localizan en el polo superior del testículo. El epidídimo es un tubo muy largo de curso tortuoso que termina en un tubo de mayor diámetro, el conducto deferente. Anatómicamente, el epidídimo suele dividirse en tres regiones: la cabeza, el cuerpo y la cola. Los espermatozoides deben pasar sucesivamente por estas tres porciones. Inicialmente, el transporte de los espermatozoides hacia el epidídimo se debe al flujo de las secreciones testiculares y posteriormente a la adición de la actividad ciliar del epitelio luminal y de la actividad contráctil del músculo liso de la pared del conducto eferente. El tránsito de los espermatozoides por el epidídimo es relativamente lento (cuadro 7.3). Los espermatozoides son transportados del epidídimo al conducto deferente por el flujo de secreciones y por la actividad contráctil del mismo. Las contracciones musculares son más frecuentes en la cabeza del epidídimo, disminuyen en el cuerpo y caen drásticamente en la cola, donde los espermatozoides son almacenados antes de ser eyaculados o expulsados en la orina. Por otro lado, gran parte de las secreciones son reabsorbidas, principalmente en el área proximal de la cabeza del epidídimo, de tal manera

que la concentración de espermatozoides en el conducto deferente es muy alta. El conducto deferente conduce luego a la uretra, un conducto común para la orina y el semen.

Cuadro 7.3. Duración en días del paso del espermatozoide por el epidídimo

ESPECIE	TOTAL	CABEZA	CUERPO	COLA
Humano	12 ¹			
Equino	7.5-11	1	1.4	6
Ovino	11-13 ²	1	3	7-9
Bovino	8-11	3.3	1	6-7
Porcino	9-14	3	2	4-9
Conejo	9-10	3	1	5-6
Rata	8	3	3	5
Cuyo	10-15			

¹ Valor promedio para el hombre, aunque en algunos casos se ha reportado que puede ser tan corto como 1 día

² 11 y 13 días, respectivamente, en el carnero sexualmente activo y en reposo.

Adaptado de Courot, M. 1981. *Transport and maturation of spermatozoa in the epididymis of mammals*. Progress in reproductive biology, vol. 8, pp. 67-69.

Los espermatozoides liberados del testículo aún son funcionalmente inmaduros. En los mamíferos, la célula espermática se prepara para fertilizar al óvulo en el epidídimo y en el tracto reproductor de la hembra. Durante el tránsito epididimal el espermatozoide experimenta una serie de cambios funcionales que le dan la capacidad de fertilizar, proceso que ha sido llamado maduración epididimal. En todas las especies, los espermatozoides tomados directamente de la porción anterior de la cabeza del epidídimo no son capaces de fecundar a un óvulo recién liberado, pero su capacidad aumenta en la porción posterior de la misma (rata: 27%; hámster 47%; conejo 7%, 68-71%; carnero 33%; cerdo 46%), y es siempre máxima en los espermatozoides tomados de la cola del epidídimo. Probablemente esto tiene relación con las modificaciones estructurales que ocurren durante su paso por cada una de las regiones de este órgano. Estos cambios incluyen: la adquisición progresiva de motilidad, la habilidad para unirse a la zona pelúcida, de sufrir la reacción acrosomal y de penetrar a la zona pelúcida. La motilidad progresiva adquirida por los espermatozoides durante su maduración en el epidídimo involucra: a) un incremento en los niveles intracelulares de adenosin 3', 5' monofosfato cíclico (AMPC) y b) la unión de un componente proteico específico a la superficie espermática. Ultraestructuralmente se han observado dos rasgos de la maduración espermática: la migración de la gota citoplásmica y la remodelación del acrosoma. Si un animal eyacula muy frecuentemente, aumenta la proporción

de espermatozoides con gota citoplasmática en el eyaculado, lo que indica que la intensa actividad sexual no permite que se complete el proceso de maduración. Bioquímicamente, el espermatozoide experimenta cambios en la membrana plasmática, en el acrosoma, en la placa basal, en las mitocondrias, en las fibras densas externas, en la hoja fibrosa y en el núcleo; en las últimas tres estructuras, estos cambios han sido atribuidos a un incremento intra e intermolecular de puentes disulfuro.

Los espermatozoides son emitidos al exterior ya sea durante la cópula, la masturbación o en emisiones espontáneas. En ausencia de estos eventos, hay un flujo continuo de espermatozoides por la uretra, los que son arrastrados por la orina al exterior.

Durante el proceso de la emisión seminal y la eyaculación, los espermatozoides maduros, suspendidos en las secreciones del testículo y del epidídimo, se mezclan antes de llegar a la uretra con las secreciones de las glándulas accesorias; el conjunto constituye el semen. El líquido seminal sirve de vehículo, pero también proporciona sustancias necesarias para el metabolismo energético del espermatozoide. Las fuerzas pulsátiles productoras de la descarga eyaculatoria son causadas, principalmente, por las contracciones rítmicas de los músculos isquiocavernoso y bulboesponjoso que rodean a la uretra en el pene, proceso que a su vez es estimulado por las contracciones de la vagina. Probablemente la descarga de oxitocina tenga un papel importante en este proceso, así como la presencia de prostaglandinas en el eyaculado.

En muchas especies domésticas, la llegada del espermatozoide al tracto genital femenino se asocia temporalmente con el tiempo de ovulación, por lo que si bien el viaje inicia con la inseminación, éste procederá con un horario variable, al parecer regulado por la hembra. Es decir, la duración del transporte espermático dependerá del intervalo entre la inseminación y la ovulación. Por otra parte, debido a diferencias en la composición del semen (incluyendo volumen y concentración), el sitio de deposición del semen entre las especies domésticas varía. Por lo tanto, las variaciones inter-especies en la biología del transporte espermático probablemente reflejen la diversidad en el comportamiento social y de estrategias de apareamiento que han evolucionado en el reino animal.

Luego entonces, el sitio de depósito del semen en el tracto de la hembra definirá las barreras anatómicas que el espermatozoide encontrará durante su viaje hacia el oviducto. Estas barreras, además de restringir el paso de los espermatozoides, establecerán un gradiente espermático en el tracto de la hembra y funcionarán como un reservorio de espermatozoides (cuadro 7.4). El establecimiento del gradiente espermático posiblemente reduzca el riesgo de poliespermia.

Cuadro 7.4. Volumen del eyaculado, número de espermatozoides y su transporte en diferentes especies^a

ESPECIE	VOLUMEN EYACULADO (ML)	NÚMERO DE ESPERMATOZOIDES (MILLONES)	SITIO DE INSEMINACIÓN	LLEGADA DE ESPERMATOZOIDES AL OVIDUCTO	
				TIEMPO (MIN)	NÚMERO
Bovino	4-0 (2.0-10)	4,000-5,000	VAGINA	2-13	4,200-27,500
Porcino	250 (150-500)	5,000	ÚTERO	30-60	POCOS
Ovino	1.0 (0.7-2.0)	800	VAGINA	2-30	600-5,000
Canino	10.0 (1.0-25.0)	125	VAGINA	2-más	5-100
Humano	3.5 (2.0-6.0)	125	VAGINA	30-68	POCOS
Conejo	1.0 (0.4-6.0)	250-500	VAGINA	90-180	250-500
Cuyo	0.15	80	ÚTERO	15	25-50
Rata	0.1	58	ÚTERO	15-30	5-100

^aAdaptado de: Blandau, R.J. *Gamete transport in the female mammal*. En: Handbook of physiology. Ed. Greep. R.O. The Williams & Wilkins Co. Baltimore, 1973.

Dentro del tracto genital femenino, las regiones que acumulan y retienen una población de espermatozoides viables por un periodo de tiempo prolongado se considera que funcionan como reservorios espermáticos. Esta interacción funcional entre espermatozoides y el tracto femenino es crucial cuando el apareamiento o la inseminación anteceden a la ovulación por varias horas o días.

Durante la cópula, el semen puede ser depositado en la vagina (vaca, oveja, coneja, mujer) o directamente dentro del útero (yegua, cerda, camélidos y roedores). En las especies con deposición espermática uterina, la unión uterotubárica es la primera barrera para que el espermatozoide ascienda a la ampolla. Los numerosos pliegues de la mucosa y el lumen estrecho de la unión uterotubárica permiten la migración de sólo una pequeña cantidad de espermatozoides del útero al oviducto. En las especies con inseminación vaginal, el espermatozoide debe librar la gran cantidad de pliegues y moco del cérvix antes de entrar al útero; la unión uterotubárica servirá más tarde para restringir el acceso de los espermatozoides al oviducto. En los roedores la formación de un tapón vaginal gelatinoso, inmediatamente después del coito, impide la salida del semen de la vagina. En los rumiantes y en los primates, el canal cervical se encuentra lleno de un moco, cuyas características fisicoquímicas se ven afectadas por el estado endócrino de la hembra. Durante la fase lútea o de dominancia de progesterona, el moco cervical puede bloquear el paso de los espermatozoides, pero bajo la dominancia de estrógenos (como en el periodo periovulatorio) la matriz mucosa se hidrata y se forman canales a través de los

cuales los espermatozoides pueden migrar. Durante el periodo periovulatorio el moco sirve para proteger al espermatozoide del ambiente hostil de la vagina y de la fagocitosis, prevenir la entrada del plasma seminal al útero, excluir a los espermatozoides anormales y retener y conservar a los espermatozoides para que más tarde migren a la parte superior del tracto. Los constituyentes bioquímicos del plasma seminal, como las prostaglandinas, pueden estimular la actividad del músculo liso del tracto de la hembra y así contribuir a la distribución de los espermatozoides. Sin embargo, el efecto directo del plasma seminal puede ser local.

La distribución de los espermatozoides en el tracto de la hembra se da por un transporte en fases: una fase rápida y una fase prolongada. La fase rápida es un evento pericoital, caracterizada por la presencia de espermatozoides en el oviducto a los pocos minutos después de la monta. Esta velocidad de transporte es mucho más rápida que la velocidad de desplazamiento de los espermatozoides; consecuentemente, ésta se atribuye a la contracción muscular del tracto de la hembra. Además, estos espermatozoides no forman parte de la población fertilizante de espermatozoides que se establece en el oviducto, ya que en su mayoría éstos se encuentran agonizando, muertos o dañados. La fase de transporte rápida es seguida por la fase prolongada de migración, durante la cual se establece el gradiente espermático, los reservorios espermáticos y por consiguiente contiene a los espermatozoides competentes que pueden llegar al oviducto. En el caso del ganado bovino, ovino y caprino, el moco del cérvix mantiene una población viable de espermatozoides que se piensa proporciona una fuente continua de espermatozoides a la parte superior del tracto reproductivo de la hembra. En la borrega, espermatozoides motiles pueden ser encontrados en el moco cervical 3.5 días después del apareamiento; en la coneja, la vagina, cérvix y útero mantienen una población de espermatozoides motiles por al menos 16 horas después del apareamiento; en la perra, espermatozoides motiles persisten en el lumen del útero hasta por 11 días; en la yegua 18 horas post-inseminación es posible encontrar espermatozoides viables en la unión uterotubárica; y en la cerda, esta última región y la parte baja del istmo del oviducto se consideran el reservorio espermático, ya que los espermatozoides pueden sobrevivir en estas regiones hasta por 72 horas.

El ascenso del semen por el útero parece estar acompañado principalmente por la actividad contráctil de la pared uterina, en parte favorecida por los mecanismos nerviosos centrales que se activan con el coito y por los estrógenos presentes en el eyaculado del macho que ayudan a disparar la liberación de prostaglandinas por parte del endometrio y así incrementar la actividad uterina. Este transporte es particularmente importante de considerar

sobre todo en situaciones de fertilidad reducida (baja actividad uterina espontánea) o cuando otros factores que afectan la inseminación, como la dosis de inseminación, el tiempo de inseminación en relación a la ovulación, etc., limitan el número de espermatozoides que sobreviven hasta el momento de la fertilización. Por ello, especialmente en situaciones de fertilidad reducida, la estimulación hormonal (intrauterina) de la actividad uterina con estrógenos, prostaglandinas u oxitocina antes, durante y después de la inseminación generalmente mejora los porcentajes de fertilización; sin embargo, una estimulación intensiva de las contracciones uterinas también puede reducir los porcentajes de fertilización, probablemente por incrementar el reflujo de las células espermáticas durante la inseminación. En el caso de la cerda, se ha observado que la introducción de un macho durante la inseminación es una forma adecuada para estimular la contracción uterina ya que se induce la liberación de oxitocina.

En cualquier caso, los espermatozoides competentes que atraviesan la unión uterotubárica, previo a la ovulación, se acumulan en la parte baja del istmo y permanecen allí hasta el inicio de la ovulación. Además, la parte baja del istmo no sólo funciona como un reservorio espermático, también regula el ascenso espermático al ampulla. Esta región del istmo es rica en receptores adrenérgicos y tiene una irrigación directa de sangre del ovario rica en hormonas.

La migración de los espermatozoides del istmo a la ampolla es estimulada por mecanismos nerviosos que se activan a partir de la ovulación; además participan diversas sustancias presentes en el fluido oviductal (hormonas, iones y diversas moléculas).

La motilidad espermática es necesaria para que los espermatozoides colonicen y atraviesen el cérvix, el moco cervical, y puede también ser requerida para que atraviesen la unión uterotubárica; pero es indispensable para que ascienda a la ampolla y penetre las envolturas del óvulo. La motilidad espermática en el tracto de la hembra es modulada por medidas impuestas en la dinámica del flagelo, ya sea espacialmente por factores limitantes o por las características de la superficie epitelial o de los fluidos secretados. Normalmente, durante su tránsito a lo largo del tracto de la hembra, el espermatozoide se adhiere íntimamente al epitelio del útero, de la unión uterotubárica y del istmo. De hecho, la interacción funcional entre los espermatozoides competentes y los fluidos luminales y la superficie epitelial del tracto de la hembra promueven la selección de las poblaciones espermáticas fisiológicamente normales.

Aun cuando la vida fértil del espermatozoide es muy breve en la mayoría de las especies (ver cuadro 7.1), hay algunas excepciones. En la gallina, los espermatozoides son almacenados en unas estructuras crípticas dentro del

oviducto y son liberados gradualmente conforme pasan los óvulos para fertilizarlos. Los espermatozoides pueden conservarse hasta por tres semanas o más. En algunos murciélagos, el coito ocurre en el otoño, luego los animales hibernan durante 3-4 meses; cuando se despiertan en la primavera ovulan y los óvulos son fertilizados por los espermatozoides depositados en el otoño anterior.

De los millones de espermatozoides sólo unos pocos llegan a alcanzar el oviducto; la relación de espermatozoides-ovocitos en el sitio de fertilización debe ser 1:1. Muchos de los espermatozoides son rápidamente eliminados en la parte baja del tracto de la hembra por un flujo retrógrado del cérvix a la vagina. El exceso de espermatozoides en el oviducto puede ser eliminado por su paso a la cavidad peritoneal. Adicionalmente, una inflamación fisiológica ocurre en respuesta a la inseminación, por lo que también se lleva a cabo una fagocitosis de los espermatozoides. A veces, algunos espermatozoides duran más tiempo en el útero y cuando llega el embrión son fagocitados por las células del trofoblasto. El significado del gran número de espermatozoides que se desperdicia no es claro. También se puede presentar una reacción antigénica en la hembra e inclusive es posible detectar anticuerpos antiespermatozoides tanto en la sangre como en las secreciones del conducto genital de hembras servidas. Sin embargo, esta reacción al parecer no afecta la fertilidad.

De cualquier manera, el significado del gran número de espermatozoides que se desperdicia no es claro.

7.3. CAPACITACIÓN

7.3.1. Enzimas espermáticas

El acrosoma es un saco membranoso que cubre el polo apical del núcleo espermático y contiene una poderosa variedad de enzimas hidrolíticas. La forma y el tamaño del acrosoma varía de una especie a otra, en algunos roedores alcanza formas realmente extremas, pero usualmente se moldea al núcleo.

La hialuronidasa y la acrosina son dos de las enzimas mayormente estudiadas y mejor caracterizadas del acrosoma. Otras enzimas hidrolíticas identificadas son: la fosfatasa ácida, la arilsulfatasa, la β -N-acetilgluco-saminidasa, la fosfolipasa A, y otras con actividad proteolítica (cuadro 7.5). El acrosoma juega un papel activo durante el proceso de fertilización. Las enzimas liberadas del acrosoma facilitan el pasaje del espermatozoide a través del *cúmulo oophorus* y la penetración de la zona pelúcida (figura 7.1).

Cuadro 7.5. Enzimas en el acrosoma

β -N-acetilglucosaminidasa
 Fosfatasa ácida
 Acrosina
 Arilamidasa
 Arilsulfatasa A
 Aspartilamidasa
 Calpaina II
 Peptidasa semejante a catepsina-D
 Peptidasa semejante a collagenasa
 Dipeptidil peptidasa
 Esterasas, no específicas
 β -Galactosidasa
 Hialuronidasa
 Neuraminidasa
 Fosfolipasa A₂
 Fosfolipasa C

*Adaptado de: Eddy and O'Brien. The espermatozoon. En: *the Physiology of Reproduction*. Vol. 1. E. Knobil and J.D. Neill (ed.). Raven Press. New York. 1994.

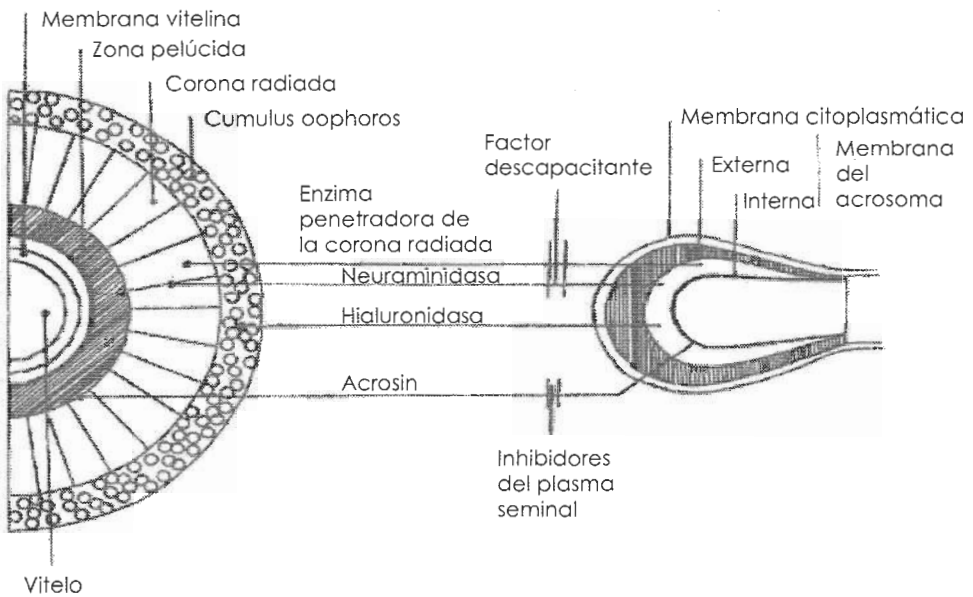


Figura 7.1. Enzimas acrosomales y sus sitios de acción sobre el óvulo. Fuente: Leidl y Wendt, 1976. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.*, 83:529

7.3.2. Capacitación espermática

Los espermatozoides obtenidos del epidídimo o eyaculados requieren una fase adicional de maduración en el tracto reproductor de la hembra que los prepara para ser capaces de fertilizar. Este proceso se conoce como capacitación;

la capacitación se define también como el conjunto de cambios que le confiere al espermatozoide la habilidad para sufrir la reacción acrosomal. El sitio de capacitación varía de una especie a otra. En las especies donde el semen es depositado en el útero, la capacitación ocurre principalmente en la parte baja del istmo. En las especies donde los espermatozoides son depositados en la vagina, ésta inicia ahí y continúa en las regiones altas del tracto de la hembra. La capacitación no es organoespecífica ni especieespecífica. También los espermatozoides pueden ser capacitados *in vitro* en un medio químicamente definido que contenga albúmina, una fuente de energía (glucosa o piruvato) y otros componentes de la solución Krebs-Ringer bicarbonatada. El tiempo de capacitación varía en las especies: alrededor de 5 horas en la coneja, 3 horas en rata y hámster, 1.5 horas en la oveja y unas 7 horas en el ser humano. Ya que el promedio de vida del espermatozoide capacitado es limitado, lo más conveniente es que el proceso se sincronice tanto temporal como espacialmente con la ovulación.

No obstante de que la capacitación de la célula espermática es requerida para que el espermatozoide sea receptivo a las vestimentas del óvulo, se una a la zona pelúcida y sufra la reacción acrosomal, el mecanismo molecular y las vías de transducción de señales involucradas en este proceso no están claramente entendidos. Los eventos principales de la capacitación conducentes a la reacción acrosomal incluyen: a) el retiro de partículas intramembranosas del área de la membrana plasmática asociada con el acrosoma; b) la disminución de la rigidez de la membrana plasmática; c) el aumento de la concentración del calcio libre intracelular y; d) el aumento del metabolismo energético y de la motilidad del gameto. Estos cambios son el resultado de la remoción de glicoproteínas y proteínas adsorbidas en la superficie del espermatozoide eyaculado, de la reorganización de moléculas de superficie y de la pérdida de colesterol.

La capacitación puede ser revertida por la exposición de los espermatozoides capacitados al fluido seminal. Por ello se postula que una proteína del fluido seminal se une a la membrana plasmática del espermatozoide previniendo la entrada de calcio, y que su pérdida podría permitir al espermatozoide capacitante acumular calcio.

El requerimiento de calcio es presumiblemente un reflejo de la dependencia de calcio de la adenilato ciclasa espermática. Esto debido a que se ha observado que durante la capacitación existe una elevación en los niveles de AMPc y en la fosforilación de proteínas espermáticas.

De hecho, en las células eucariotas la adición y/o la remoción de grupos fosfatos en las proteínas es uno de los mecanismos más comunes para regular la actividad de las mismas. El estado de fosforilación/desfosforilación es

controlado por la actividad de proteínas cinasas y fosfatas, respectivamente. La fosforilación puede ocurrir en los residuos de treonina y tirosina de las proteínas, siendo esta última la más frecuente. En muchas especies, excepto el cerdo, el flagelo parece ser uno de los principales compartimentos de la célula espermática que experimenta fosforilaciones en tirosina, relacionadas con la adquisición de la motilidad hiperactiva. En el espermatozoide de cerdo, la capacitación induce la fosforilación de tirosina en las proteínas de la membrana plasmática, lo cual se piensa inicia la unión a la zona pelúcida e induce la reacción acrosomal. En el espermatozoide de ratón, hámster, bovino, equino y el humano, el incremento en la fosforilación en tirosina de las proteínas durante la capacitación se ha mostrado involucra a la proteína cinasa A (PKA) vía AMPc, siendo esta vía de señalización única en el espermatozoide (figura 7.2). Es más, en la célula espermática, la PKA está compartimentalizada para asegurar así una especificidad en las funciones, esto a través de la unión de su subunidad reguladora a la familia de proteínas de anclaje a proteína cinasa A (AKAP). De hecho, experimentalmente se ha observado que la adición durante la capacitación de H89, un inhibidor de la PKA, la bloquea o disminuye, mientras que la adición de análogos permeables de AMPc, como el AMPc dibutilil, incrementan la fosforilación en tirosina de las proteínas espermáticas. Además, las proteínas espermáticas también sufren fosforilación en los residuos de serina/treonina. Las proteínas fosforiladas en estos residuos podrían proporcionar una unión entre el incremento temprano en la actividad de la PKA que es seguida por la fosforilación en tirosina.

Una de las proteínas fosforiladas durante la capacitación es la fosfolipasa C, que cataliza la conversión del fosfatidilinositol trifosfato (PIP_3) en diacilglicerol (DAG) e inositol trifosfato (IP_3), los cuales han sido involucrados en el incremento de la fluidez de la membrana plasmática y también en el aumento de su capacidad fusogénica.

También es un hecho el requerimiento de bicarbonato durante la capacitación, su entrada induce cambios rápidos en la arquitectura de los lípidos de la membrana plasmática y en la motilidad por una vía dependiente de AMPc/PKA, así como un incremento del pH intracelular (figura 7.2). El papel de este último es incierto ya que la modificación del pH en la célula espermática no induce la capacitación, por lo que más que la modulación del pH, el bicarbonato estaría participando en la estimulación de la actividad de una forma especial de adenilato ciclasa soluble. De manera notable los niveles de bicarbonato son bajos en el epidídimo y altos en el plasma seminal y en el oviducto. En paralelo con estos eventos, pero significativamente después de los cambios en la fluidez de la membrana ocasionados por el bicarbonato (> 90 minutos versus < 10 minutos), la albúmina remueve el colesterol de los dominios de la

membrana plasmática de la cabeza espermática y permite el movimiento de determinados glicolípidos (seminolípidos) presentes en la monocapa externa del área apical de la cabeza, hacia el dominio ecuatorial. Los seminolípidos, por estabilizar la membrana plasmática, previenen la reacción acrosomal, por lo que su relocalización vuelve la región apical de la cabeza espermática fusogénica, permitiendo la reacción acrosomal. El resto de la membrana plasmática donde se concentran los seminolípidos después de la capacitación, mantiene su estabilidad.

Es interesante señalar que *in vitro* la interacción espermatozoide-células del epitelio del oviducto modifica tanto la fosforilación en tirosina como la capacitación espermática. Esta modulación de la fosforilación podría ayudar a sincronizar la función espermática con el tiempo de ovulación.

Otros estudios han sugerido que las especies reactivas de oxígeno como el H_2O_2 y el anión superóxido están involucrados en la regulación de la capacitación del espermatozoide. Se ha sugerido que el H_2O_2 activa a la adenilato ciclasa para producir AMPc (figura 7.2). Por último, ha sido reportado que la progesterona afecta varias funciones espermáticas, especialmente la capacitación, motilidad y reacción acrosomal. La progesterona estimula la entrada de calcio en el espermatozoide humano a través de receptores de progesterona tipo 1 (PR1) y canales de calcio dependientes de voltaje (VDCC), también en el espermatozoide de esta especie estimula la fosforilación de proteínas, hiperactivación con un incremento en los niveles de AMPc. La progesterona también incrementa la fluidez de la membrana plasmática (figura 7.2).

Se ha observado que una proteína llamada CRISP-1, que es adicionada a la superficie espermática en el epidídimo, se pierde durante la capacitación, lo mismo sucede con otras proteínas adquiridas del plasma seminal (esperma-dhesinas).

En términos generales, el espermatozoide capacitado posee una motilidad hiperactivada y una forma diferente de batir el flagelo. Este fenómeno es coincidente con la reacción acrosomal. La hiperactivación espermática, un estado en el cual el espermatozoide exhibe un movimiento vigoroso y más amplio del flagelo, es regulado por una vía separada a la que regula la reacción acrosomal. Se considera que la hiperactivación actúa como un mecanismo por el cual el espermatozoide se desprende del epitelio del reservorio espermático y gana acceso al sitio de fertilización. Así, la hipermotilidad del espermatozoide podría facilitar el encuentro casual con el óvulo, su ascenso de la región del istmo hacia la ampolla del oviducto o su habilidad para penetrar el óvulo.

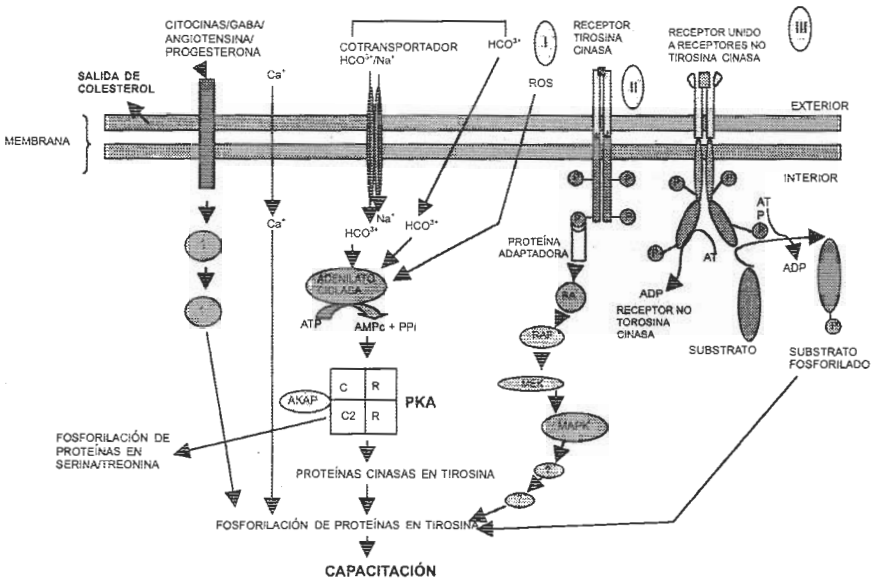


Figura 7.2. Esquema mostrando las vías de señalización de fosforilación en tirosina involucradas en la capacitación de la célula espermática. Parece ser que son tres las vías principales de señalización operando en la célula espermática, llamadas vía dependiente de AMPc/PKA (vía I), vía receptor tirosina cinasa (vía II) y vía proteína receptor no tirosina cinasa (vía III). La vía I, que es exclusiva sólo de la célula espermática, parece ser la principal de las tres. Estas cascadas de señalización podrían ser no mutuamente exclusivas e incluir una intercomunicación entre varias moléculas. Muchas de las moléculas clave y receptores permanecen por ser identificados para elucidar por completo el mecanismo molecular y cascada de transducción de señal involucradas en la capacitación. La vía de proteína Gs acopladas a receptores no es incluida en este modelo. ROS: especies reactivas de oxígeno. Fuente: Naz, R.K., Rajesh, P.B. *Role of tyrosine phosphorylation in sperm capacitation/acrosome reaction*. Repr. Biol. End. 2:75 (2004)

7.3.3. Reacción acrosomal

La capacitación es seguida por la reacción acrosomal. De hecho, la reacción acrosomal se considera como un indicador de la capacitación espermática. La reacción acrosomal es un proceso de exocitosis del espermatozoide y es absolutamente requerida para la fecundación. Sólo los espermatozoides con reacción acrosomal son capaces de atravesar la zona pelúcida (ZP), unirse a la membrana plasmática del óvulo y fusionarse con éste. La reacción acrosomal se inicia inmediatamente después de la unión primaria de la célula espermática con la zona pelúcida del óvulo. La ZP induce la reacción acrosomal a través de una de sus glicoproteínas (ZP3). Aunque la zona pelúcida es el principal inductor fisiológico de la reacción acrosomal, la progesterona, secretada por las células del cúmulo y presente en el fluido folicular, es también un importante cofactor en este proceso de exocitosis. Sin embargo, una característica importante de la reacción acrosomal mediada por la zona pelúcida es que es especie específica. El mecanismo por el cual la zona pelúcida y la progesterona

inducen la reacción acrosomal, involucra receptores en la membrana plasmática, una señalización intracelular y una vía de transducción de señal activada por la interacción de estos agonistas con sus receptores. De acuerdo con lo anterior, los receptores para la ZP3 están localizados sobre la región anterior de la cabeza del espermatozoide, entre los que se encuentran dos proteínas o glicoproteínas acopladas a proteínas G (el receptor de manosa y el receptor de la β -galactosiltransferasa) y otra con actividad de tirosina-cinasa propia; para la progesterona, el receptor mejor caracterizado es el complejo canal de Cl⁻/receptor-esteroideo. Tanto la ZP como la progesterona estimulan la reacción acrosomal al aumentar el Ca²⁺ y el pH dentro del espermatozoide. El origen del Ca²⁺ puede ser externo o interno (de los almacenes celulares: acrosoma y mitocondrias). El Ca²⁺ externo es un requerimiento absolutamente necesario para la reacción acrosomal. Esto sugiere que canales de Ca²⁺ en la membrana plasmática están involucrados en la entrada de este ion y aparentemente modulados por un potencial de membrana y por una fosforilación mediada por la proteína cinasa C (PKC). La movilización del Ca²⁺ interno puede ser en respuesta a la producción de IP₃ o de AMPc.

Inmediatamente después de la unión del espermatozoide (receptor) a la ZP3 (ligando), la membrana plasmática que cubre al acrosoma y la membrana acrosomal externa se fusionan en múltiples puntos y forman una serie de vesículas. Como resultado de la reacción acrosomal, las vesículas derivadas de la fusión de ambas membranas y el contenido del acrosoma (una gran variedad de enzimas hidrolíticas y proteolíticas, principalmente la hialuronidasa y la acrosina) son liberadas al ambiente que les rodea. El segmento ecuatorial del acrosoma no se ve involucrado en la vesiculación de membranas; a este nivel, la membrana plasmática y la membrana acrosomal se fusionan para mantener una membrana continua que delimite el contenido del espermatozoide (figura 7.3). El ápice y mucho del aspecto lateral de la cabeza espermática queda delimitado por la membrana acrosomal interna.

La reacción acrosomal es un requisito absoluto para la fusión espermatozoide-óvulo. Esta observación sugiere que, como resultado o concomitantemente con la reacción acrosomal, la membrana plasmática a nivel del segmento ecuatorial sufre un cambio fisiológico mayor que vuelve al espermatozoide competente para fusionarse. Por lo tanto, la membrana sobre el segmento ecuatorial posee una proteína con propiedades fusogénicas. Una molécula de adhesión candidata para este proceso de adhesión es la proteína espermática cirestestina. La cirestestina pertenece a una familia de proteínas de adhesión a matriz extracelular. Esta proteína ha sido reportada como asociada con la membrana acrosomal interna, y que durante el proceso de capacitación y/o reacción acrosomal migra al segmento ecuatorial.

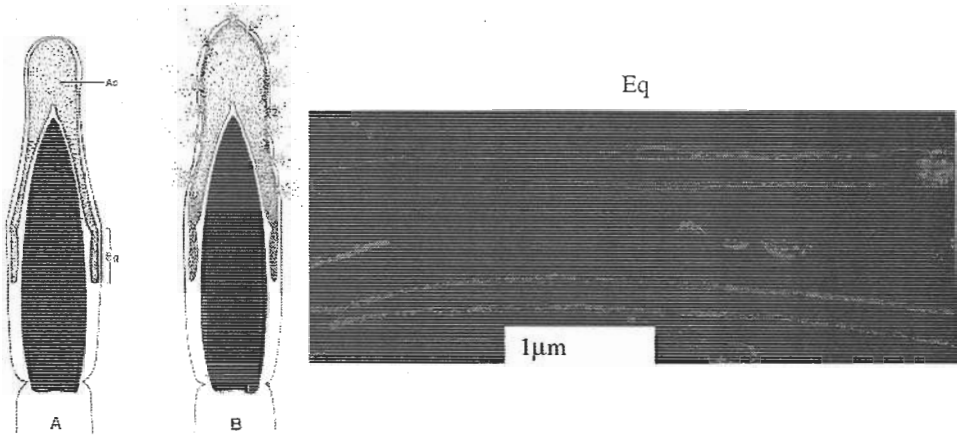


Figura 7.3. Representación esquemática (derecha) y microscopía electrónica de la reacción acrosomal. A. Espermatozoide con acrosoma intacto. B. Fusión de la membrana plasmática y acrosomal externa en múltiples sitios. En la microscopía electrónica, los sitios de fusión aparecen como un arreglo de vesículas. Ac: acrosoma, Eq: segmento ecuatorial. *Fuente:* Noland, J.P., Graham, J.K., y Hammerstedt, R.H. 1992. *Arch. Bioch. Bioph.* 292:313. Yanagimachi. "Mammalian fertilization". En: *The physiology of reproduction*. E. Knobil, J.D. Neil (ed.), Raven Press, Nueva York, 1994

Antes de la reacción acrosomal, el flagelo espermático se mueve vigorosamente. Este cambio en la motilidad ha sido llamado movimiento hiperactivado y normalmente tiene lugar una vez que se ha completado la capacitación. Este poderoso y fuerte ímpetu ayuda a facilitar el paso del espermatozoide a través del fluido viscoso del oviducto y a penetrar las vestimentas del óvulo, principalmente la zona pelúcida.

In vitro la RA puede ser inducida por otros inductores como el ionóforo de calcio A23187, progesterona o ésteres de forbol.

7.4. FERTILIZACIÓN

La interacción del espermatozoide y del huevo inicia una serie de transformaciones que involucran a los componentes nucleares y citoplásmicos de ambos gametos. Estas transformaciones constituyen el proceso de fertilización, que comienza con la interacción y subsecuente fusión de los gametos y termina con la asociación de los grupos correspondientes de cromosomas derivados de los dos pronúcleos, uno de origen materno y el otro paterno. Los aspectos esenciales de la fertilización son: la asociación del genoma paterno y materno y la activación del óvulo.

En el caso del ovocito es durante el crecimiento del mismo que la membrana plasmática adquiere la competencia para la fusión. Se sabe que los

ovocitos pequeños de los folículos primordiales no son capaces de fusionarse con el espermatozoide, pero al alcanzar un diámetro de aproximadamente 20 μm , mientras el ovocito está aún arrestado en la profase de la primera división meiótica, la fusión puede ocurrir. Durante la fertilización normal *in vivo* el ovocito no conocerá al espermatozoide hasta la ovulación en la que tendrá un diámetro de 80 μm y estará arrestado en la metafase II.

7.4.1. Penetración

Para los espermatozoides depositados en el tracto de la hembra, la zona pelúcida (ZP) es la última barrera que deben atravesar para fertilizar al óvulo. En la penetración de la ZP interviene probablemente un mecanismo mecánico y otro enzimático. En el primero las fuerzas generadas por el movimiento hiperactivado ayudan al paso del espermatozoide a través de la ZP. En el segundo, las enzimas liberadas durante la reacción acrosomal (RA) hacen una abertura en la ZP, a través de la cual el espermatozoide puede penetrar. La acrosina, liberada del espermatozoide durante la reacción acrosomal, tiene propiedades únicas. Ésta hidroliza las glicoproteínas de la ZP sin alterar el resto de la estructura de la misma, ni los sitios de unión del espermatozoide con la ZP. La acrosina se encuentra primero en su forma inactiva, la proacrosina. Ésta tiene una fuerte habilidad para unirse a carbohidratos, por lo tanto parte de la proacrosina liberada del espermatozoide durante la reacción acrosomal se une a la superficie externa de la ZP (específicamente a la plicoproteína ZP2 de la ZP) y otra parte permanece unida a la membrana acrosomal interna. La proacrosina en ambos sitios ayuda a mantener al espermatozoide con RA sobre la ZP. Enseguida, la proacrosina, por un mecanismo autocatalítico, se convierte en su forma activa, la acrosina alfa, que tiene actividad proteolítica. La acrosina alfa "suaviza" la ZP, permitiendo que el espermatozoide con RA inserte su cabeza dentro de la ZP. En la vecindad inmediata de la cabeza espermática, la superficie de la ZP parece erosionarse, formando un orificio o camino espermático (figura 7.4). La penetración de la zona pelúcida toma, *in vitro*, 10 minutos; probablemente este proceso sea más rápido *in vivo*. La penetración ocurre en trayectoria oblicua. Una vez atravesada la ZP, el espermatozoide fertilizante atraviesa rápidamente el espacio perivitelino. La cabeza espermática se une a la membrana plasmática del óvulo y rápidamente la cabeza es incorporada dentro del citoplasma del óvulo.

En el huevo, un subdominio específico de la membrana plasmática es el que participa en la mezcla inicial de las dos bicapas lipídicas. La membrana plasmática del huevo puede ser dividida en dos regiones principales. La parte de la membrana que cubre directamente los cromosomas metafásicos tiene una superficie lisa desprovista de microvellosidades. Diversos

investigadores han descrito que ningún espermatozoide se fusiona en esta región. El resto del huevo es rico en microvellosidades. Esta es la región del huevo donde el espermatozoide tanto se une como se fusiona.

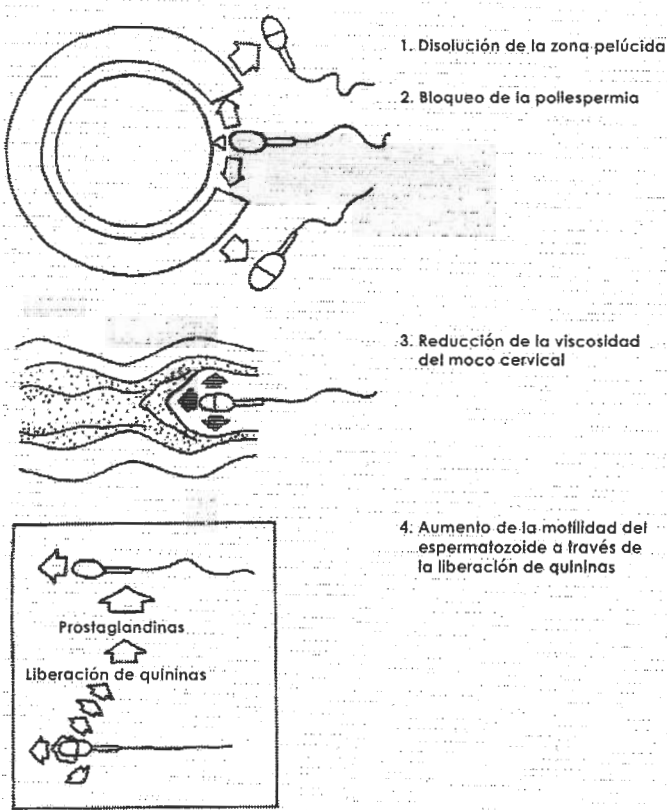


Figura 7.4. Funciones fisiológicas de la acrosina. Fuente: Leidl y Wendt, 1976. Dtsch. Tierärztl. Wschr., 83:529

Como en el huevo, en el espermatozoide la región de la membrana plasmática que participa en la fusión inicial está restringida. Las regiones excluidas de la fusión inicial son la membrana del flagelo y la recién incorporada membrana acrosomal interna. De manera consistente se ha postulado que sólo la región ecuatorial del espermatozoide puede iniciar la fusión con el huevo (figura 7.5), pero no se descarta que la membrana plasmática de la región posterior de la cabeza también lo haga. Esto sugiere que la membrana que cubre al segmento ecuatorial contiene proteínas fusogénicas. Debido a la reacción acrosomal, la composición de la membrana plasmática se altera por la incorporación de la región interna de la membrana acrosomal a la membrana plasmática, con la subsiguiente relocalización de

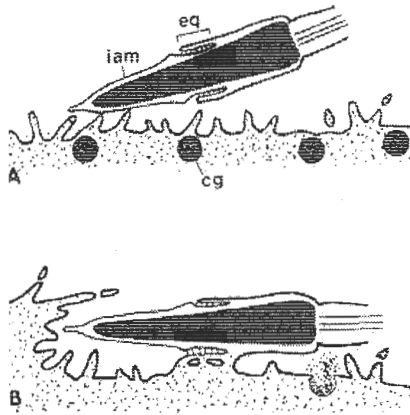


Figura 7.5. Esquema de la fusión espermatozoide-óvulo: (cg) gránulos corticales; (eq) segmento ecuatorial; (iam) membrana acrosomal interna. *Fuente:* Yanagimachi. *Mammalian fertilization. En: The physiology of reproduction.* E. Knobil, J.D. Neil (ed.), Raven Press, Nueva York, 1994.

algunas proteínas de membrana en otras regiones (por ejemplo PH-20, cires-testina e Izumo). La relocalización de PH-20 ocurre por su difusión en la bicapa lipídica. En el caso de otras proteínas permanece como una materia de debate si este cambio que ocurre de localización ocurre por difusión de las mismas a través de la bicapa lipídica o por la liberación de estas moléculas (quizá en vesículas de membrana) y posterior reasociación con la membrana plasmática espermática. Alteraciones adicionales de las moléculas de la membrana espermática pueden ocurrir como resultado de la liberación del contenido acrosomal que también puede unirse a la membrana plasmática y/o alterarse por actividad enzimática (por ejemplo proteasas y glicosidasas).

Conforme el espermatozoide es incorporado en el citoplasma del huevo y las membranas de los dos gametos se mezclan para formar una membrana nueva en el cigoto, es claro que la membrana de la parte anterior de la cabeza (membrana acrosomal interna) es excluida de esta mezcla. Esta región de la membrana plasmática, fusionada con un parche pequeño de la membrana plasmática del huevo, se separa para formar una pequeña vesícula híbrida en el citoplasma. Esto ha sido descrito como un proceso de pseudo-fagocitosis. Subsecuentemente, la región posterior de la cabeza y el flagelo se incorporan al huevo vía fusión de membranas, mientras que la región anterior de la cabeza se introduce por una manera fagocítica. En el sitio de fusión de ambos gametos, el citoplasma forma una protrusión a menudo referida como el cono de incorporación. Un indicador visible de la fusión espermatozoide-óvulo es la reducción súbita del movimiento flagelar. Bajo condiciones fisiológicas, sólo un espermatozoide se fusiona con la membrana plasmática del óvulo.

CD9 es una proteína miembro de la familia de las tetraspaninas, presente tanto en la superficie del huevo como en la superficie de muchos otros tipos celulares. Esta proteína es requerida para el proceso de fusión de gametos y por microscopia electrónica se ha mostrado que se localiza en la región del huevo rica en microvellosidades.

Izumo es un miembro nuevo de la superfamilia de las inmunoglobulinas (IgSF) presente en la superficie del espermatozoide y se ha postulado que como otros miembros de las IgFS, ésta podría actuar en la adhesión célula-célula. La CD9 del huevo es un candidato atractivo como compañero de adhesión de Izumo, pero no han aparecido datos que soporten esta noción.

Basados en la inhibición de la fusión por anticuerpos o por la purificación de proteínas, otras proteínas de la superficie del gameto han sido identificadas que tienen un papel potencial en la fusión espermatozoide-huevo. Una de las más estudiadas de estas proteínas es la DE. La proteína DE es producida y secretada por las células epiteliales del epidídimo. Ésta se asocia con la membrana plasmática espermática conforme la célula atraviesa el epidídimo. Esta proteína se asocia fuertemente a la membrana espermática y no puede ser fácilmente desprendida de la misma. La proteína purificada se une a la región rica en microvellosidades del huevo y su unión inhibe la fusión del gameto.

Otras proteínas del gameto masculino involucradas en el proceso de fusión pertenecen a la familia de las ADAMs (A Desintegrin And Metalloprotease; metaloproteasa con un dominio de desintegrina). El dominio de desintegrina de las proteínas ADAMs presentes en el espermatozoide puede potencialmente unir a una integrina del huevo. La integrina específica del huevo, identificada por inhibición con anticuerpos, que funciona en el proceso de fusión del gameto fue $\alpha 6\beta 1$.

Las ADAMs inicialmente estudiadas en la célula espermática en el proceso de fusión fueron ADAM2 y ADAM3, sin embargo existen aproximadamente 40 ADAMs de las cuales aproximadamente 15 son predominantes o expresadas de manera exclusiva en el testículo.

Existen evidencias de que otra proteína de la familia de las tetraspanina, CD81, podría participar por parte del huevo en el proceso de fusión. También las proteínas de anclaje a glicofosfatidil inositol (GPI) han sido involucradas en la fusión espermatozoide-huevo.

La fusión de la membrana plasmática del óvulo con la del espermatozoide provoca una serie de cambios morfológicos y bioquímicos en el óvulo activo (huevo). Los más fácilmente reconocibles son la reanudación de la segunda división meiótica, resultando en la expulsión del segundo cuerpo polar y la reacción cortical.

Los siguientes eventos pueden ser empleados como un criterio de una fertilización exitosa (fusión espermatozoide-óvulo), aunque no todos son necesariamente apropiados para todas las especies:

1. Descondensación de la cabeza espermática dentro del huevo.
2. El pronúcleo masculino y el femenino.
3. La presencia del primero y el segundo cuerpo polar.
4. La reacción cortical (pérdida de los gránulos corticales del huevo).

7.4.2. Respuesta del óvulo a la penetración del espermatozoide

La respuesta del óvulo a la fusión de membranas entre ambos gametos es su activación. La activación completa del óvulo incluye la inducción temprana de cambios oscilatorios en la concentración del calcio intracelular y la reanudación de la meiosis, produciéndose un embrión capaz de desarrollarse normalmente.

El huevo detenido en la metafase de la segunda meiosis termina su división, de tal manera que la mitad del contenido de cromatina es eliminado con el segundo cuerpo polar, evento que convierte al huevo en una célula haploide.

La entrada de más de un espermatozoide conduce a desarrollos anormales. Como respuesta del huevo a la fecundación, para prevenir los efectos letales de la poliespermia, se activan mecanismos específicos de bloqueo. El bloqueo a la poliespermia se consigue mediante la pérdida de permeabilidad de la ZP y alteraciones en la superficie de la membrana, que impiden la penetración de más espermatozoides. Aunque el mecanismo exacto se desconoce, uno de los primeros eventos que ocurren al momento de la fecundación es una hiperpolarización transitoria de la membrana plasmática del huevo. Este bloqueo de la membrana plasmática se establece un minuto después de la unión espermatozoide-óvulo. Poco después, los gránulos corticales son excitados liberando su contenido (enzimas hidrolíticas y proteasas) hacia el espacio perivitelino y éste es responsable de modificar la ZP3 y de hidrolizar parcialmente a la ZP2 (reacción zonal). La exocitosis de los gránulos corticales (reacción cortical) inicia dos minutos después de la unión espermatozoide-óvulo. Ya que la membrana de los gránulos excitados se integra a la membrana plasmática del huevo, se especula que tanto su membrana como su contenido contribuyen al establecimiento del bloqueo a la poliespermia. Cuando estos mecanismos fallan, entonces se tienen los casos de poliespermia.

Los cambios asociados al envejecimiento del óvulo provocan la falla en el bloqueo de la poliespermia. De ahí la importancia de que la monta o la inseminación artificial se realicen en el momento propicio. En la cerda, la monta tardía aumenta la incidencia de poliespermia.

7.4.3. Singamia

La secuencia de eventos que se dan durante la migración del pronúcleo femenino y del pronúcleo masculino hacia el centro del huevo y su unión, es lo que se conoce como singamia, y se considera el punto de terminación de la fertilización y el inicio del desarrollo embrionario.

El primer cambio visible que ocurre en el núcleo espermático, después de su incorporación en el citoplasma del huevo, es el rompimiento de la envoltura nuclear. Como resultado del rompimiento de la envoltura nuclear, la cromatina es expuesta al citoplasma del huevo. Eventualmente, la cromatina comienza a descondensarse hasta volverse una masa homogénea dispersa. Durante este proceso las protaminas son removidas del ácido desoxirribonucleico (DNA) y se reemplazan por histonas. Estos cambios son seguidos por el ensamblaje de una envoltura nuclear nueva alrededor de la cromatina descondensada para formar el pronúcleo masculino y se inicia la replicación del DNA.

Después de la anafase II, los cromosomas del huevo permanecen dispersos en el cigoto, organizándose alrededor de éstos una envoltura nuclear nueva, formándose el pronúcleo femenino y la replicación del DNA. Cada pronúcleo contiene un número variable de nucléolos.

La síntesis de DNA inicia casi sincrónicamente en ambos pronúcleos. Para asegurar el desarrollo sincrónico de los pronúcleos, el huevo posee una actividad supresora que previene el desarrollo del pronúcleo femenino durante las primeras horas de la activación del huevo. En turno, el desarrollo del pronúcleo masculino parece también estar sincronizado con la terminación de la meiosis y el desarrollo del pronúcleo femenino. Conforme crecen los pronúcleos se van acercando más uno al otro hasta que entran en contacto y se fusionan precisamente en el centro del huevo; más tarde la totalidad de la envoltura nuclear se rompe dejando escapar una masa de cromosomas parcialmente condensados. Los cromosomas completan su condensación y se acoplan, uniéndose así las contribuciones hereditarias paterna y materna (figura 7.6). Esto es la profase de la primera división celular para dar origen a los dos primeros blastómeros. Con la fertilización se decide el sexo genético del individuo, dependiendo del tipo de espermatozoide (X o Y) que haya fertilizado al óvulo (figura 7.7).

7.4.4. Errores de fertilización

- *Polispermia*. Ocurre cuando dos (excepcionalmente más) espermatozoides penetran al óvulo y ambos toman parte en la fertilización. Se forman tres pronúcleos (que no crecen tanto como en

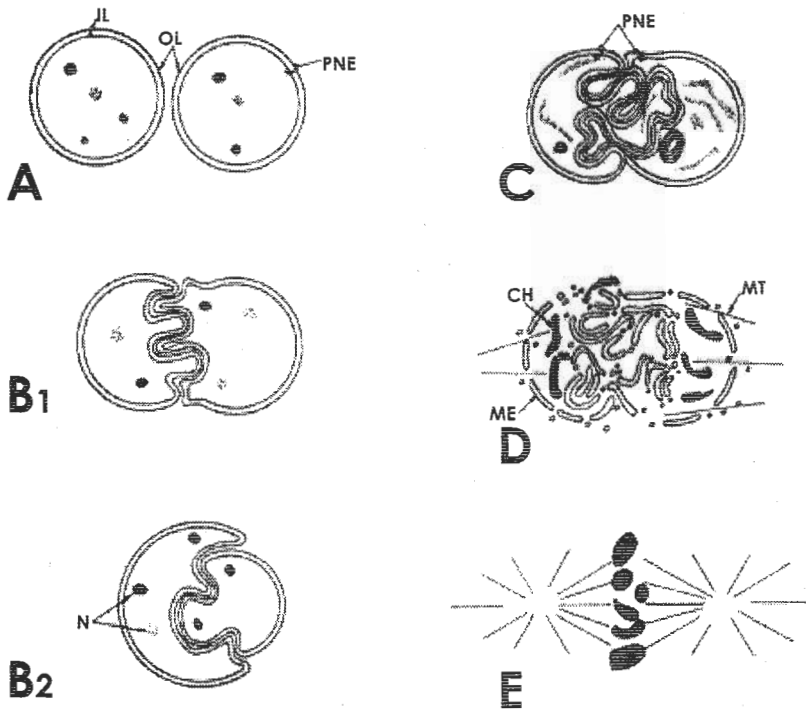


Figura 7.6. Esquema de la asociación del pronúcleo masculino y del femenino. (A) Aposición de los pronúcleos. (B₁, B₂) Interdigitación de las superficies proximales de los pronúcleos. (C) Complejo de integración de los pronúcleos. (D) Vesiculación de las envolturas pronucleares y formación del huso mitótico. (E) Aparato mitótico de la primera metafase. CH, cromatina; IL, lámina interna de la envoltura pronuclear; ME, elementos membranosos formados como resultado de la vesiculación de la envoltura pronuclear; MT, microtúbulos; N, nucléolo; OL, lámina externa de la envoltura pronuclear; PNE, envoltura pronuclear. *En:* The physiology of reproduction. E. Knobil, J.D. Neil (ed.), Raven Press, Nueva York, 1994

los casos normales) y durante la singamia los tres se fusionan. El cigoto tiene entonces tres juegos de cromosomas y se llama *triploide*. El desarrollo inicial del embrión es normal, pero posteriormente degenera y muere. Por lo mismo, la poliespermia es una condición letal. Este problema puede incrementarse por el envejecimiento del óvulo antes de ser fertilizado.

- **Poligínea.** Ocurre cuando el segundo cuerpo polar no es eliminado y se desarrollan entonces dos pronúcleos femeninos y uno masculino. Se forma igualmente un cigoto triploide y muere alrededor de la mitad de la gestación.
- **Ginogénesis.** Este fenómeno se presenta en algunos peces (Molly amazónico). Entre ellos no hay machos, sólo hembras. Las hem-

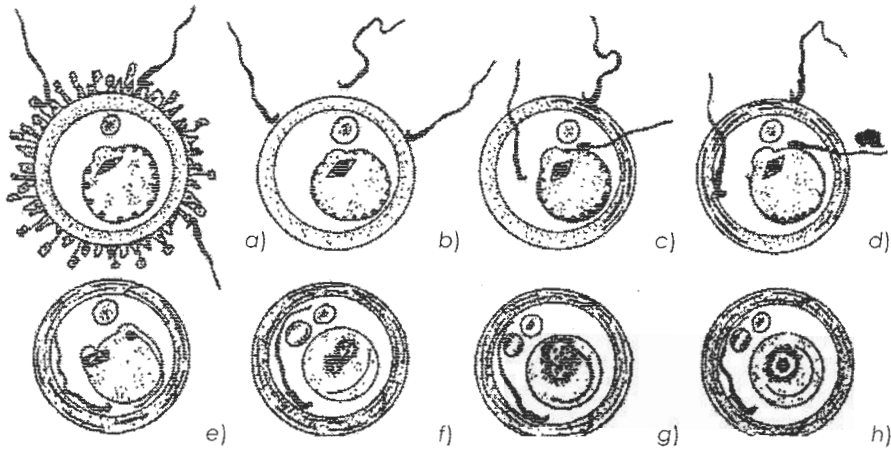


Figura 7.7. Esquema de la fertilización. *a)* Penetración del espermatozoide a través del *cumulus oophorus*. *b y c)* Penetración de la zona pelúcida. Los gránulos corticales comienzan a disminuir. *d)* Contacto del espermatozoide con la membrana plasmática del huevo. *e)* La cabeza del espermatozoide se hunde en el citoplasma. Se termina la segunda división meiótica. *f)* Se expulsa el segundo cuerpo polar. La cola del espermatozoide también penetra en algunas especies (rata, ratona y conejo) o permanece afuera del vitelo (hámster chino). Se forman los pronúcleos masculino y femenino. *g)* Los pronúcleos se desarrollan en forma sincronizada, el DNA se replica y empieza la transcripción de los genes maternos y paternos llegando a su punto máximo durante la segmentación. *h)* Unión de los pronúcleos masculino y femenino. Adaptada de: Chang, M.C., Austin, C.R. 1976. *Mammalian fertilization*. Res in Reprod Vol 8, No. 4

bras copulan con machos de una especie bisexual del mismo género. Los espermatozoides, al penetrar el óvulo, sólo activan el huevo, ya que degeneran y no llegan a formar el pronúcleo masculino. El óvulo no expulsa el segundo cuerpo polar y sigue su desarrollo como un ente haploide. Esto no ocurre en mamíferos.

- **Partenogénesis.** Significa parto de una virgen y se aplica al desarrollo embriológico sin la participación de espermatozoide. Debe diferenciarse de ginogénesis, donde el espermatozoide es necesario para activar el proceso. Éste es un proceso normal en algunos insectos como la abeja, en que los zánganos son producidos por partenogénesis y las obreras y la reina, por fertilización. En mamíferos, la partenogénesis avanza solamente hasta el estadio de implantación. Sin embargo, se piensa que dentro de la población humana podrían existir algunos productos de la partenogénesis. Naturalmente tales productos serían invariablemente hembras y se parecerían mucho a la madre. La partenogénesis ocurre con frecuencia en pavos y gallinas dando lugar a machos diploides.

7.4.5. Fertilización *in vitro*

Es una tecnología de reproducción asistida en la que se fecundan uno o varios óvulos fuera del organismo materno. La fertilización *in vitro* se ha logrado en prácticamente todas las especies domésticas y el ser humano.

Para obtener los óvulos que serán luego fertilizados, se realiza la estimulación farmacológica de la ovulación, mediante la administración de la hormona FSH y un control estricto del ciclo estral mediante la determinación de los niveles hormonales y seguimiento ecográfico del desarrollo folicular en los ovarios. A diferencia de lo que ocurre en un ciclo normal, mediante la estimulación ovárica con fármacos, se pretende obtener varios óvulos maduros al mismo tiempo, esto permite optimizar el proceso y ahorrar nuevos ciclos en caso de que no se consiga la gestación en un primer intento.

El crecimiento folicular se controla combinando análisis seriados de estradiol en el plasma y ecografías de los ovarios. Al comprobar que el número y tamaño de los folículos es el adecuado, se desencadena su maduración mediante una inyección de LH. Unas 36 horas después se realiza la captación folicular mediante punción guiada ecográficamente (lo más frecuente) o mediante laparoscopia (introducción de un sistema óptico y quirúrgico por una incisión de 1-2 cm en la pared abdominal). Los ovocitos obtenidos son estudiados y completan su maduración en un medio de cultivo. Los óvulos seleccionados se mantienen en un medio líquido especial al que se añade el semen previamente capacitado. Después de 18 horas se extraen los óvulos, se cultivan en un medio adecuado y se examinan 40 horas después. Hay una probabilidad de 40-50% de fecundación de los óvulos. Los óvulos fecundados y con desarrollo embrionario normal se implantan en el útero materno. Por lo general, se transfieren múltiples embriones para incrementar la probabilidad de gestación. Si hay más de cuatro embriones normales se pueden congelar algunos para futuros intentos. Sólo hasta cuatro embriones son transferidos al útero de la madre, para disminuir el riesgo de embarazos múltiples. Tras la implantación, se administran inyecciones de progesterona. La probabilidad de que una gestación llegue a término es de 20%.

El medio especial para incubar los óvulos y espermatozoides debe contener concentraciones adecuadas de sales de calcio; osmolaridad y pH óptimos; y también contener albúmina, piruvato, lactato y antibióticos.

Esta técnica permite a su vez la utilización más eficiente del semen, particularmente aquel de alto valor genético y alto costo.

La fertilización *in vitro* también es empleada para estudiar los diferentes aspectos fisiológicos y morfológicos del proceso de fertilización.

7.5. SEGMENTACIÓN

Después de la singamia, el cigoto lleva una existencia libre dentro del oviducto, y luego en el útero de la madre. Éste, con su nuevo potencial genético y su reciente arreglo del citoplasma, inicia la producción de un organismo multicelular. En todas las especies animales conocidas, esto inicia con un proceso llamado segmentación, una serie de divisiones mitóticas donde el volumen enorme del citoplasma del huevo es dividido. Las divisiones celulares se producen sin que haya aumento de masa celular; por lo tanto, hay más bien disminución en el tamaño de las células. La primera división celular del cigoto es meridional; sin embargo, en la segunda división uno de los dos blastómeros se divide meridionalmente y el otro se divide ecuatorialmente. Este tipo de división se llama rotacional. Por otra parte, no todos los blastómeros se dividen sincrónicamente, de modo que es posible encontrar fases con 3, 5 o 6 blastómeros. Después de la tercera división, los blastómeros estrechan su relación y forman una masa celular compacta. Cuando llega el estadio de 16-32 células, se denomina *mórula*. Ésta consiste en un grupo de células internas pequeñas rodeadas por un grupo de células externas grandes. Pronto empieza a acumularse fluido en los espacios intercelulares y aparece luego una cavidad interna o blastocele. Cuando esta cavidad empieza a expandirse, el cigoto toma el nombre de *blastocito*. Muchas de las células grandes forman el trofoblasto (trofoectodermo). Este grupo de células produce las estructuras no embrionarias (corion y porción embrionaria de la placenta); por lo tanto, son necesarias para la implantación del embrión a la pared del útero. La masa de células internas da origen al organismo animal. La compactación de los blastómeros crea el primer evento de diferenciación celular. En el primer estadio de la compactación, cada uno de los ocho blastómeros interactúa con su vecino para sufrir la polarización de la membrana; diferentes componentes de la superficie celular migran a diversas regiones de la célula. Proteínas específicas de superficie juegan un papel durante la compactación. Una de estas moléculas es la cadherina-E, una glicoproteína de adhesión. También la vía del fosfatidilinositol puede ser importante para iniciar la compactación celular.

Los cambios bioquímicos que ocurren durante este periodo de desarrollo han sido ampliamente estudiados mediante la técnica del cultivo de embriones *in vitro*.

7.6. CONCEPCIONES GEMELARES

Los gemelos se pueden clasificar en dos grupos principales: monocigóticos (un solo huevo o idénticos) o dicigóticos (dos huevos o fraternales) (figura 7.8). En

el primer caso, resultan individuos genéticamente iguales. Muchos de estos casos se originan por la separación de los blastómeros tempranos o después de la implantación, como consecuencia de la diferenciación de la masa celular interna en dos porciones que dan origen a dos individuos. Ya que poseen exactamente la misma información genética, este tipo de gemelos suelen ser empleados como animales de experimentación para estudios básicos. En el ganado vacuno los gemelos naturales ocurren con una incidencia del 4%. Artificialmente los gemelos monocigóticos pueden ser producidos por división *in vitro* del embrión previa transferencia a la hembra receptora. Por lo que el empleo de este procedimiento puede incrementar eficientemente la producción animal de un número limitado de embriones, por ejemplo de embriones de animales de alta calidad genética.

Los gemelos fraternales son el resultado de dos eventos separados de fertilización, son más frecuentes, y los productos que resultan pueden ser de diferente sexo y fenotipo. La proporción de este tipo de gemelos puede incrementarse por tratamientos hormonales como dosis bajas de gonadotropina sérica de yegua preñada, hormona folículo estimulante, gonadotropinas de mujeres menopáusicas e inmunización contra inhibina.

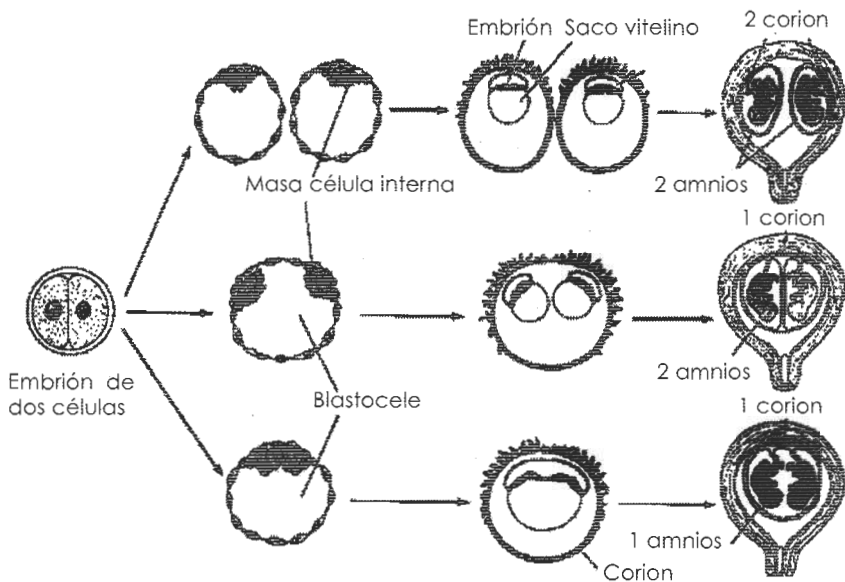


Figura 7.8. Esquema de la generación de los gemelos monocigóticos en relación con las membranas extraembrionarias. (A) La división ocurre antes de la formación del trofoectodermo, por lo que cada gemelo tiene su propio corion y amnios. (B) La división ocurre después de la formación del trofoectodermo pero antes de la formación del amnios, por lo que cada gemelo tiene un saco amniótico individual pero comparten el corion. (C) La división después de la formación de amnios produce gemelos que comparten el mismo saco amniótico y el corion. Adaptada de: Gilbert, S.F. 1997. *Cleavage: Creating multicellularity*. En: *Developmental biology*, 5a. ed.

7.7. TRANSPORTE DEL EMBRIÓN EN EL APARATO REPRODUCTIVO

Después de la fertilización en la porción ampular del oviducto, el cigoto es transportado al útero. Este proceso tarda de 3 a 4 días en la mayoría de los mamíferos (ver cuadro 7.1). Para asegurar una alta viabilidad es preciso que exista una sincronización entre el grado de desarrollo del embrión y el estado hormonal en el que se encuentra el endometrio. En el trasplante de embriones del ganado bovino se ha podido constatar que mientras mejor sea esa sincronización, mayor será la posibilidad de que el embrión se desarrolle. El transporte del cigoto es controlado por el medio hormonal que lo rodea. Durante su desarrollo y crecimiento, el cigoto produce una gran variedad de factores de crecimiento y lípidos, como los eicosanoides (prostaglandinas) y un factor del cigoto. Esto implica que el propio cigoto puede controlar su velocidad de transporte. Probablemente estas sustancias regulen la actividad muscular y la acción de los cilios del oviducto.

Mientras el embrión se mueve a través del oviducto hacia el útero, el blastocisto se expande dentro de la zona pelúcida. Durante este tiempo, es esencial que la zona pelúcida prevenga que el blastocisto se adhiera a las paredes del oviducto. Cuando el embrión alcanza el útero, éste debe liberarse de la zona pelúcida para que pueda adherirse a la pared del útero (eclosión). El blastocisto se libera de la zona pelúcida al lisar una región pequeña y producir un orificio, por el cual sale conforme se expande. Una proteasa llamada estripsina, localizada sobre la membrana plasmática, realiza la lisis de la matriz fibrilar de la zona pelúcida. Una vez fuera, el blastocisto puede hacer contacto con el útero. Una vez que el embrión alcanza el útero, transcurre cierto tiempo (variable con la especie) antes de que ocurra la implantación. En especies politocas, antes de la implantación debe ocurrir el espaciamiento de los embriones a fin de evitar problemas de aglomeración y muerte en etapas más avanzadas de gestación.

En esta etapa también ocurren migraciones transuterinas, o migraciones internas, en animales en que ambos cuernos uterinos tienen conexión como es el caso de la vaca, oveja, camélidos y cerda. Las migraciones transuterinas son muy frecuentes en la cerda, al extremo de que un óvulo fertilizado que se origina en un ovario tiene la misma probabilidad de implantarse en el cuerno uterino opuesto o en el adyacente. La migración embrionaria también es frecuente en la oveja y en la cabra, sin embargo es rara en la vaca.

En la alpaca (*Lama pacos*) y los camélidos en general, pese a que la incidencia de ovulaciones de ambos ovarios es similar, más del 95% de las gestaciones se localizan en el cuerno uterino izquierdo, lo que indica una alta proporción de migraciones internas.

7.8. LITERATURA RECOMENDADA

- Abou-Haila, A., y Daulat, R.P.T. *Mammalian sperm acrosome: formation, contents, and function*. *Archiv. Biochem. Biophys.* 379: 173-182, 2000.
- Aitken, R.J. "The cell biology of fertilization". En: *The fate of the male germ cell*. Ed. Ivell and Holstein, Plenum Press, Nueva York, 1997.
- Austin, C.R., y Short, R.V. *Reproduction in mammals. 1 Germ Cells and Fertilization*. Cambridge University Press, Nueva York, 1990.
- Bedford, J.M. "Maturation, Transport and Fate of Spermatozoa in the Epididymis". En: *Handbook of physiology*. Ed. Hamilton, D.W. & Greep, R.O. Sec. 7. Vol. 5, Capítulo 14; 303 Amer. Physiol. Society, The Williams & Wilking Co., Baltimore, 1975.
- Fernández-Baca, S. *Manipulation of reproductive functions in male and female New World Camelids*. *An. Reprod. Sci.* 33:307-323, 1993.
- Flesch, F.M., y Gadella, B.M. *Dynamics of the mammalian plasma membrane in the process of fertilization*. *Bioch. Biophys. Acta*, 1469:197-235, 2000.
- Gilbert, S.F. "Cleavage: Creating multicellularity". En: *Developmental Biology*. 5a. ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, 1997.
- Hafez, E.S.E. "Transport and Survival of Gametes". En: *Reproduction in Farm Animals*. 4a. ed. Lea & Febiger, Philadelphia, 1980.
- Hartmann, J.F. "Mammalian fertilization". En: *Mechanism and control of animal fertilization*. ed. John F. Hartmann. Academic Press, Nueva York, 1983.
- Harper, M.J.K. "Gamete and zigote transport". En: *The physiology of reproduction*. Ed. E. Knobil and J.D. Neill, Raven Press, Nueva York, 1994.
- Harrison, R.A.P. *Capacitation mechanisms, and the role of capacitation as seen in eutherian mammals*. *Reprod. Fertil. Dev.* 8:581-594, 1996.
- Honda, A., Siruntawinete, J., y Baba, T. *Role of acrosomal matrix proteases in spermzona pellucida interactions*. *Hum. Reprod. Update.* 8:405-412, 2002.
- Hunter, R.H.F. *Physiology and Technology of Reproduction in Female Domestic Animals*. Academic Press, Londres, 1980.
- Hunter, R.H.F. *Sperm transport and reservoirs in the pig oviduct in relation to the time of ovulation*. *J. Reprod. Fert.* 63:109, 1981.
- Jaiswal, B.J., Cohen-Dayag, A., Tur-Kaspa, I., Eisenbach, M. *Sperm capacitation is, after all, a prerequisite for both partial and complete acrosome reaction*. *FEBS Letters*, 427:309-313 (1998).

8. IMPLANTACIÓN Y PLACENTACIÓN*

JOSÉ CARLOS FERRUGEM MORAES

- 8.1. INTRODUCCIÓN
- 8.2. IMPLANTACIÓN
- 8.3. PLACENTACIÓN
- 8.4. MEMBRANAS FETALES
- 8.5. CONCEPCIÓN
- 8.6. LITERATURA RECOMENDADA

8.1. INTRODUCCIÓN

La implantación no es más que el proceso de fijación del embrión mamífero a la pared uterina de su genitora. La placentación es el mecanismo por medio del cual el embrión es capaz de nutrirse de las reservas de su madre. Dentro de la fisiología de la reproducción en los mamíferos, la implantación y la placentación constituyen fenómenos indispensables para el desarrollo y la nutrición del embrión, además de que hay una íntima relación entre la tasa de fertilización y mortalidad embrionaria con estos dos fenómenos.

En la actualidad la investigación de estos eventos tiene un gran avance e importancia, intensificándose tanto los estudios *in vivo* como *in vitro* de los embriones, para determinar sus necesidades proteicas y energéticas, así como su selectividad metabólica. Los estudios *in vitro* demuestran que el óvulo recién fertilizado es parecido al ovocito en cuanto a sus requerimientos de piruvato y oxalacetato, y a partir del estadio de ocho células, la glucosa puede ser utilizada como fuente de energía. El ritmo metabólico del embrión se puede medir por medio del consumo de oxígeno o bien por la eliminación de bióxido de carbono. Se piensa que el genoma embrionario no asume el control total del desarrollo sino hasta la etapa de blastocisto, el cual posee un alto grado de selectividad metabólica, controlando activamente la entrada de sustancias del fluido uterino que lo rodea. Antes de la implantación, el fluido del blastocele es muy rico en potasio y bicarbonato, que son introducidos por medio de transporte activo a partir del fluido uterino,

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Implantación y placentación", elaborado por Luis Zarco.

cuando se lleva a cabo la implantación. Los valores de estas dos sustancias caen a niveles similares a los del suero materno, mientras que las proteínas y la glucosa se elevan al igual que el fósforo y los iones de cloro.

Los embriones de todos los mamíferos dependen de los fluidos del oviducto para satisfacer sus necesidades de fuentes de energía durante los primeros días de su existencia.

El embrión, cuando ha entrado al útero y antes de implantarse, obtiene todos los nutrientes a partir del histotrofo o "leche uterina". Esta sustancia es una mezcla de las secreciones de las glándulas uterinas, fluidos del oviducto, células de descamación y detritus de diversas fuentes. Todos los estudios realizados tanto *in vitro* como *in vivo* han hecho posible la elaboración de biotecnologías de amplia aplicación en producción animal, como la transferencia, congelación y producción *in vitro* de embriones.

8.2. IMPLANTACIÓN

La implantación, en los primates superiores y roedores, sucede cuando el blastocisto es rápidamente embebido por la pared uterina, con mantenimiento directo vascular y tisular. En contraste, en las especies domésticas, el embrión permanece en la luz uterina, el alantocorion adyacente es el que adquiere una íntima ligazón con el endometrio. Por eso el término adhesión parece ser el más adecuado para designar la acción del embrión de tomar posición en el útero y establecer contacto físico con el tejido materno.

El cigoto pasa por la etapa de segmentación para dar origen al blastocisto. Mientras estos cambios se suceden en el embrión, el útero también sufre cambios preparándose para la implantación, por ende, hay una disminución en la actividad muscular y tonicidad del útero, lo que ayuda a retener a los blastocistos en el lumen uterino. Al mismo tiempo, hay un aumento en el suministro sanguíneo al epitelio uterino. En algunas especies este incremento sanguíneo se extiende a lo largo de todo el útero. El tejido embrionario especializado que interacciona con el útero es el trofoblasto, y la forma por la cual éste va a interaccionar dependerá de la morfología de la placenta, ya que existe una gran diversidad de formas de implantación y placentación en los mamíferos. Antes de que se produzca la implantación, el embrión pierde su zona pelúcida; esto se lleva a cabo por la propia expansión del blastocisto que hace que la zona pelúcida se adelgace. Además, se cree que en este proceso interviene una enzima estrógeno-dependiente. Mientras tanto, en el endometrio se producen modificaciones que promueven la fusión del endometrio con el trofoblasto. Se piensa que el útero debe estar sensibilizado por estrógenos y progesterona para que se produzca una reacción, la cual incluye la producción de sustancias específicas que actúan sobre el

blastocisto aumentando la actividad de las células del trofoblasto. Si el útero no ha sido sensibilizado por estrógenos en etapas tempranas de la preñez, el blastocisto entra en una etapa o estado de latencia o retardo y la implantación se pospone.

El retardo en la implantación se sucede durante la lactancia en ratones y ratas, siendo extensivo también a los marsupiales los cuales se caracterizan por tener un periodo de gestación muy corto. El retardo de la implantación más prolongada se sucede en otro tipo de animales como tejón, osos, focas, comadreas y algunos tipos de venado, de manera que las crías no nazcan sino en la época óptima del año para su supervivencia. No se sabe cuál es el estímulo que lleva a la activación del blastocisto del ratón en el útero sensibilizado por estrógenos. Existen evidencias que sugieren que los estrógenos no afectan de manera directa al blastocisto, pero inducen al útero a producir algunas sustancias que luego actúan sobre el blastocisto, ya sea incrementando el metabolismo directamente o removiendo algunas sustancias inhibitorias.

El blastocisto estimula al endometrio adyacente para producir una reacción celular, la cual es esencial en caso de que ocurra la implantación. Se sabe que la presencia física del embrión no es lo que estimula al útero, ya que un pedazo de tamaño similar de vidrio o plástico no tienen efecto, por lo que se presume que existe algún producto del embrión que actúa sobre el epitelio uterino.

En las especies politocas, los blastocistos se distribuyen por toda la longitud del cuerno uterino como resultado de movimientos musculares de la pared uterina. En cerdas, por ejemplo, los blastocistos pasan libremente entre un cuerno y otro. La presencia de los blastocistos que se consideran grandes, como los del conejo, puede modificar los movimientos musculares uterinos, de manera que los embriones se distribuyan durante la implantación. A los siete días postcoito, los blastocistos de conejo ya se observan, más que al azar, distribuidos regularmente en los cuernos uterinos. En la cerda también la distribución de los embriones en los dos cuernos es mucho más uniforme de lo que podría esperarse y la elongación se logra mediante un área común entre los blastocistos adyacentes. No hay evidencia de que un blastocisto implantado ejerza alguna influencia inhibitoria sobre la implantación de otro blastocisto que se encuentre cerca de él. Después de que los embriones se implantan, con frecuencia guardan una distribución uniforme dentro del útero, debido al crecimiento diferencial de las paredes uterinas.

En algunas especies monotocas, el disco embrionario ocupa una pequeña sección en la parte central del útero. En la cerda, el periodo inicial de adhesión se ubica entre 12 o 24 días después de la fertilización. Alrededor

del 7º día, la zona pelúcida que rodea al blastocisto ya se ha desvanecido, así que el trofoblasto se encuentra en contacto directo con el epitelio uterino. El trofoblasto empieza a proliferar de manera rápida. El endodermo aparece y el blastocisto cambia en el curso de unos cuantos días de una pequeña vesícula esférica a un tubo muy alargado que llega a medir más de un metro. La longitud del blastocisto del cerdo provee una superficie muy amplia de absorción.

En las ovejas, el desarrollo temprano del blastocisto es muy similar al de la cerda. Se ha observado cierto grado de adhesión, tan temprano como 10 días, pero la elongación es menos extensa y no se inicia sino hasta el 11º o 12º día y a la tercera semana puede llegar a medir 30 cm. El proceso de implantación se completa aproximadamente entre la 4ª y 5ª semana de gestación.

En la vaca, la ovulación ocurre más o menos 10 horas después del final del celo. La fertilización en las próximas 6 u 8 horas, es seguida de la primera división en el día 1 del ciclo (día 0 = día del celo). Una vez que el embrión tiene dos células, comienzan una serie de divisiones mitóticas formando los blastómeros. Los embriones llegan al útero en el cuarto día. En el día 5 los embriones son denominados mórulas, teniendo inicio el proceso de cavitación, que resulta en una esfera rellena de líquido, el blastocisto. En este punto se verifica la primera diferenciación celular visible, donde hay como mínimo dos tipos celulares. El blastocisto sale de la zona pelúcida en el día 9, iniciando un rápido periodo de elongamiento, presentando varios centímetros en el día 15. Esta expansión continúa, y en el día 18 el cuerno uterino está casi lleno; el embrión se adhiere firmemente al útero en el día 35.

En la yegua, el blastocisto alcanza un diámetro de 5 cm a los dos meses y la elongación es muy ligera. Durante la 3ª semana, el blastocisto adquiere una cubierta de albúmina de 3-4 mm de espesor. Al final de la 3ª semana aparece el disco trofoblástico, el cual ayuda a la unión, pero sobre todo a la nutrición del embrión. En la décima semana las microvellosidades del corion penetran a la mucosa de la pared uterina, y en la semana 14 se completa la implantación. Así, el proceso de la implantación incluye una compleja interacción entre el embrión y el útero, y cada uno de ellos provee de un estímulo esencial para ayudar al desarrollo del otro.

El tiempo que el blastocisto pasa en el útero antes de implantarse difiere con cada especie (cuadro 8.1).

Cuadro 8.1. Implantación en algunas especies animales

ESPECIE	DÍA EN QUE SE IMPLANTA	TIPO
Canino	20	Central
Felino	13-14	Central
Equino	25-30 (70-80%)	Central
Porcino	11-20	Central
Bovino	30-40	Central
Ovino	13-16	Central
Conejo	7-8	Central
Rata y ratón	3-5	Excéntrica
Humano	8-15	Intersticial

8.3. PLACENTACIÓN

La placenta es el órgano temporal a través del cual se relacionan fisiológicamente la madre y el feto. La placenta es sumamente activa, interviniendo en muchas funciones vitales para la vida del feto como son la respiración, excreción, absorción de nutrientes y metabolismo en general. Asimismo, es un órgano endocrino que interactúa con el sistema hormonal tanto de la madre como del feto, por lo tanto, la placenta sustituye parcial o totalmente la actividad de órganos como pulmones, riñones, glándulas endocrinas y otros.

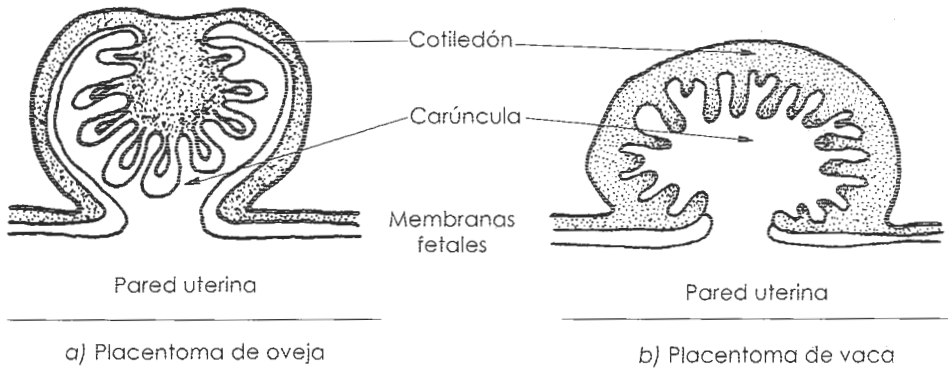
8.3.1. Tipos de placentación

La placenta, de acuerdo con la posición que el embrión ocupa con respecto a las paredes del útero, puede ser:

- *Central.* El feto ocupará durante toda la gestación la cavidad natural del lumen uterino, el sitio o sitios de adhesión pueden ser difusos, cotiledonarios o zonarios.
- *Excéntrica.* El feto erosiona e invade la mucosa uterina en un sitio especial, pero mantiene contacto con el lumen uterino y sus fluidos a través del saco vitelino.
- *Intersticial.* El blastocisto invade completamente la mucosa uterina perdiendo todo contacto con el lumen y la expansión de las membranas fetales provoca que el lumen se oblitere durante la gestación.

La placenta puede también clasificarse de acuerdo con su morfología e histología. De acuerdo con su morfología puede ser: difusa, cotiledonaria, zonal y discoidal.

- *Placenta difusa.* Este tipo de placentación se presenta en la cerda y en la yegua. Toda la superficie del corioalantoides está recubierta



a) Placentoma de oveja

b) Placentoma de vaca

Figura 8.1. Morfología del placentoma en la oveja y la vaca. Adaptada de: Roberts, S. J. *Veterinary obstetrics and genital diseases*. Edwards Brothers, Inc. Ann Arbor, Michigan, 1971

por microvellosidades que se proyectan dentro de las criptas endometriales; el endometrio y el corion toman parte en la placentación, excepto sobre la abertura de las glándulas uterinas, ya que la secreción glandular provoca una separación entre el endometrio y el corion.

- **Placenta cotiledonaria.** Se presenta en la vaca, oveja y cabra. En estas especies, el útero está en contacto con los cotiledones de la placenta fetal; los cotiledones son estructuras formadas por acumulación de vellosidades coriónicas muy vascularizadas. Al unirse un cotiledón con una carúncula, forman lo que se denomina un placentoma. Las carúnculas en los rumiantes se distribuyen en cuatro hileras, dos ventrales y dos dorsales, que cubren a todo lo largo los cuernos y el cuerpo uterinos. En la vaca existen entre 75 y 120 placentomas, y en la borrega de 80 a 90. En la vaca gestante la carúncula es convexa y el cotiledón es cóncavo; en la borrega la carúncula, al igual que en la vaca, se eleva sobre el endometrio, pero ésta es cóncava y el cotiledón es convexo (figura 8.1).
- **Placenta zonal.** Se encuentra en los carnívoros. En estos mamíferos el corion se recubre de vellosidades formando una banda en la zona media del saco coriónico; esta banda mide de 2.5 a 7 cm de ancho en el perro y en el gato. La placenta se forma con la unión de esta banda formando una circunferencia correspondiente al lumen del útero. El resto del corion está desprovisto de vellosidades y no tiene un papel importante en las funciones placentarias.
- **Placenta discoidal.** Este tipo de placenta no se encuentra en ninguna de las especies domésticas, se presenta en roedores y pri-

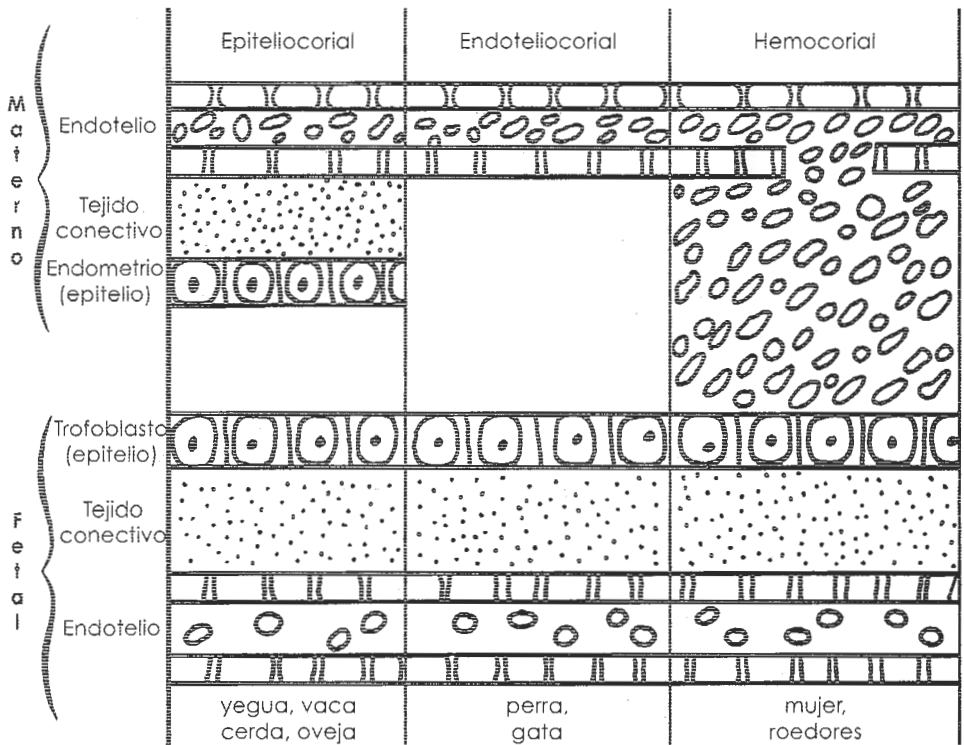


Figura 8.2. Clasificación histológica de la placenta

mates. La placenta forma un disco oval en el corioalantoides por medio del cual se une con el endometrio.

De acuerdo con el número de capas histológicas que constituyen la placenta, éstas se clasifican en (figura 8.2):

- *Epliteliocorial*. Este tipo de placenta se encuentra en la yegua, cerda, vaca y borrega. La placenta se constituye de seis capas histológicas en donde el epitelio uterino intacto se pone en contacto con el corion intacto.
- *Endotelicorial*. Está presente en la gata y perra; se constituye de cuatro capas histológicas. El epitelio endometrial se pierde, así como el tejido conectivo uterino, por lo que el corion se pone en contacto directo con el endotelio de los vasos sanguíneos maternos.
- *Hemocorial*. Se presenta en los primates incluyendo al humano, así como en la mayoría de los roedores. Está constituida por sólo tres capas histológicas. Se pierde el endotelio de los vasos maternos

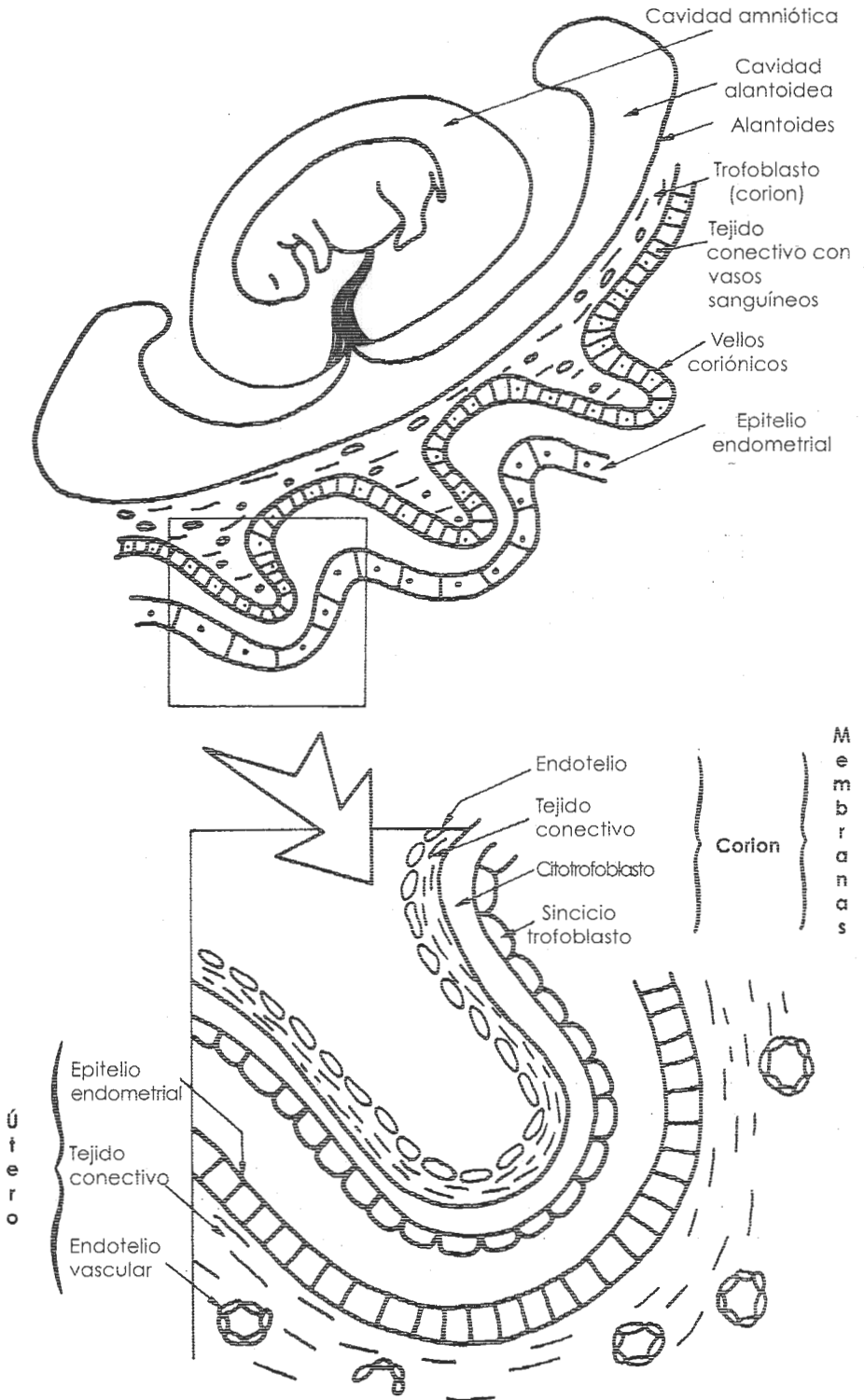


Figura 8.3. Relación entre las membranas fetales y el útero

y la sangre materna se extravasa, de manera que las vellosidades del corion se bañan directamente con la sangre materna.

8.4. MEMBRANAS FETALES

Las membranas fetales en los animales domésticos son tres: *corion*, *alantoides* y *amnios* (figura 8.3).

- *Corion*. El corion se desarrolla a partir del trofoblasto, el cual se diferencia en una capa interna de células mononucleadas (citotrofoblasto) y una capa externa de células multinucleadas (sincitiotrofoblasto), en la cual se desarrollan vellosidades en el exterior. Después se une con el alantoides formando el corioalantoides, que es la estructura que se pone en contacto con el endometrio para formar la placenta fetal.
- *Alantoides*. Se constituye del endodermo cubierto por una capa vascular de mesodermo. El alantoides va creciendo y llenándose de fluidos poniéndose estrechamente en contacto con el corion y

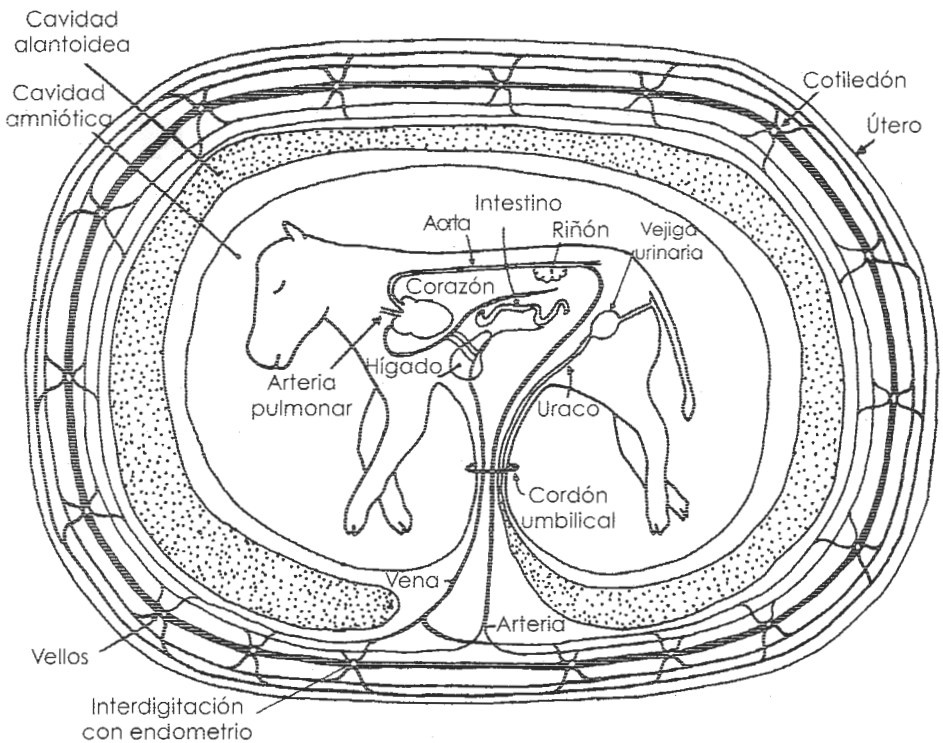


Figura 8.4. Feto bovino, sus membranas y su circulación fetal

forma el ya mencionado corioalantoides. La capa externa del alantoides es muy vascularizada y en ella se forman las arterias y venas umbilicales. El uraco es el conducto formado por el estrechamiento del alantoides en su punto de unión con el feto.

- *Amnios*. Está constituido por tejido ectodérmico, originando una vesícula a partir de un pliegue del corion y un saco que rodea completamente al feto. El saco amniótico está lleno de fluido, en el cual flota el embrión, actuando como un mecanismo protector que funciona como amortiguador hidráulico. El líquido amniótico evita que el feto se adhiera a esta membrana, constituyendo así una solución bactericida (figura 8.4) .

8.5. CONCEPCIÓN

Las fases descritas anteriormente son clasificaciones académicas de eventos biológicos que ocurren simultáneos y son responsables directos por la fertilidad o fecundidad de los rebaños de animales domésticos.

Tomando como ejemplo la tasa de concepción en ganado productor de carne, ésta depende de dos factores fundamentales: primero, la manifestación de celo, originada de un complejo conjunto de mecanismos fisiológicos que indican que las hembras están en condiciones de ovular; y segundo, la fertilización de los ovocitos, que a su vez depende de la calidad del ovocito de los espermatozoides y de la interacción de los dos, dando condiciones propicias para la fertilización. Entre tanto, las fallas reproductivas se deben también a alteraciones en la fijación de los embriones en el útero y la adecuada formación y función de la placenta. Muchos estudios han verificado que las fallas en la concepción son muchas y ocurren aun en hembras con función reproductiva normal en una proporción de 25% en las tres primeras semanas después de la monta o inseminación, siendo, por lo tanto, debidas a mortalidad embrionaria o fetal con o sin alteración en la duración del ciclo estral. La mayoría de las fallas (80%) ocurre antes de la fijación del embrión en el útero entre los días 8-18, y quince por ciento más entre los días 18-50 después de la monta. Cuando la mortalidad ocurre antes de los días 16-17, las vacas retornan al estro con intervalos regulares. Sin embargo, cuando los embriones mueren después de este momento, los intervalos entre celos son anormalmente largos. Estas evidencias, junto con el dato de que después del día 50 de gestación las pérdidas son mínimas, refuerzan la importancia de los fenómenos de implantación y placentación en el proceso reproductivo.

8.6. LITERATURA RECOMENDADA

- Amoroso, E.C. 1952. "Placentation". En: *Marshall's physiology of reproduction*. Ed. A. S. Parkes London, Longmans, Green and Co.
- Bjoekman, N. 1965. *Fine structure of the ovine placentome*. J Anat 99:283.
- Flood, P.F. 1991. "The development of the conceptus and its relationship to the uterus". En: *Reproduction in domestic animals*. Ed. P.T. Cupps, Academic Press, Nueva York.
- Gordon, I. 1996. *Controlled reproduction in cattle and buffaloes*. Ed. CAB International Wallingford, UK.
- Hunter, R.H.F. 1997. *Physiological factors influencing ovulation, fertilization, early embryonic development and establishment of pregnancy in pigs*. Vet J 133:461.
- King, C.J., Atkinson, B.A., Carnegie, J. A., Robertson, H. 1997. *A bovine implantation*. Amer Soc Anim Sci Abstr. 177.
- Polge, C., Dziuk, P. J. 1970. *Time of cessation of intrauterine migration of pig embryos*. J Anim Sci 31:565.
- Reynolds, S.R.M. 1972. *On growth and form of the hemochorial placenta: An essay on the physical forces that shape the chorionic trophoblast*. Am J Obstet. Gynecol 1: 15.
- Samuel, A.C., Allen, W.R., Steven, D.H. 1974. *Studies on the equine placenta. I. Development of the microcotyledons*. J Reprod Fertil 41:441.
- Samuel, A.C., Alien, W.R., Steven, D.H. 1976. *Studies on the equine placenta. H. Ultrastructure of the placental barrier*. J Reprod Fertil 48:257.
- Samuel, A.C., Allen, W.R., Steven, D.H. 1977. *Studies on the equine placenta. III. Ultrastructure of the uterine glands and the overlying trophoblast*. J Reprod Fertil 51:433.
- Wales, R.C. 1975. *Maturation of mammalian embryo: Biochemical aspects*. Biol Reprod 12:66.
- Weitlauf, H.M. 1977. "Biology of implantation". En: *The physiology of reproduction*. Ed. Knobil, E., Neill, J.D. 2º ed., Raven Press, Nueva York.
- Wynn, R.M. 1969. *Non-cellular components of the placenta*. Am J Obstet Gynecol 103:723.
- Wynn, R.M., Corbett, J.R. 1969. *Ultrastructure of the canine placenta and amnion*. Am J Obstet Gynecol 103:878.

9. GESTACIÓN*

MARTHA OLIVERA / JOSÉ CARLOS FERRUGEM MORAES

- 9.1. INTRODUCCIÓN
- 9.2. DURACIÓN DE LA GESTACIÓN
- 9.3. RECONOCIMIENTO DE LA GESTACIÓN
- 9.4. NUTRICIÓN FETAL
- 9.5. TRANSPORTE DE NUTRIENTES
- 9.6. CRECIMIENTO FETAL
- 9.7. ENDOCRINOLOGÍA DE LA GESTACIÓN
- 9.8. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE LA GESTACIÓN
- 9.9. LITERATURA RECOMENDADA

9.1. INTRODUCCIÓN

La gestación es uno de los componentes más importantes del control de la fertilidad en los animales domésticos, considerando que es un integrante esencial de la cadena de fenómenos biológicos como son el parto, la fertilización y el reinicio de la actividad ovárica posparto. La gestación se define como el periodo comprendido entre la fertilización de un óvulo por un espermatozoide y el momento del parto. Ésta es la definición ideal del proceso, ya que también se considera gestación a aquel periodo que concluye en una reabsorción embrionaria o un aborto.

9.2. DURACIÓN DE LA GESTACIÓN

La duración de la gestación en los bovinos, evento que se inicia con la fertilización y concluye con el parto, es de 282 días, pudiendo variar de 279 hasta 290 días. Sobre condiciones extensivas de cría, cuanto mayor es la duración de la gestación, la frecuencia de distocia puede estar aumentada debido al mayor crecimiento fetal y de los envoltorios fetales en los últimos dos meses de gestación. La duración de este periodo varía de acuerdo con la especie (cuadro 9.1); por lo general, las especies politocas presentan gestaciones menores y en las monotocas preferenciales, como los humanos, bovinos y

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* "Gestación", elaborado por Alberto Saltiel.

équidos, la gestación es de mayor duración. En la vaca la variación del tiempo de la gestación puede incluir factores relativos a la propia hembra (edad), al feto (número de fetos y sexo) y al orden genético (raza y genotipo del feto), así como factores ambientales (nutrición, temperatura y estación del año). En el cuadro 9.2 se presenta la variación de origen racial en los bóvidos.

Cuadro 9.1. Características de la gestación en las diferentes especies animales*

ESPECIE	DURACIÓN (DÍAS)	NÚMERO MÁS FRECUENTE DE PRODUCTOS
Cabra	148	1-3
Cerda	115	8-12
Coneja	32	8
Gata doméstica	62	4
Mujer	267	1-2
Oveja	150	1-2
Perra	63	7
Rata	21	6-9
Ratona	20	4-7
Vaca	283	1-2
Yegua	341	1

*Adaptado de Cole, H. H. Cupps, P. T. (Eds.) *Reproduction in domestic animals*. 3a. ed., Academic Press. Nueva York.

Cuadro 9.2. Variación de la duración de la gestación entre razas bovinas

RAZA	DURACIÓN DE LA GESTACIÓN (DÍAS)
Holandesa	278.9
Jersey	279.3
Aberdeen Angus	280.5
Hereford	285.0
Pardo Suiza	289.7
Cebú (general)	295.0
Media general	284.7 ± 6.5

Adaptado de Brackel, et al. (1952) y Vale Filbo, et al. (1986).

9.3. RECONOCIMIENTO DE LA GESTACIÓN

La implantación en los mamíferos depende de que el embrión sea reconocido desde el punto de vista endocrino por su madre, lo que evitará el retorno al estro de la madre y, por consiguiente, la pérdida de la gestación; esta estrategia evita la luteólisis.

Cuatro a cinco días después a la ovulación, los embriones alcanzan el útero en estadio de mórula; al día 7 se encuentran como blastocitos y al día 9 eclosionan de la zona pelúcida, con excepción de la yegua, cuyo blastocisto se rodea de una cápsula que previene la elongación del trofoblasto. Los

embriones de los rumiantes producen interferón-tau (IFN- τ), entre los días 10 y 21, con producción máxima entre los días 14 y 16, tiempo en que se encuentran en estadio de precontacto (cuadro 9.3). Las hipótesis sobre cómo el reconocimiento maternoembrional actúa sobre el mantenimiento del cuerpo lúteo se presentan en la figura 9.1. La explicación de la figura es ésta:

Señal luteolítica: al final de cada ciclo estral el cuerpo lúteo es lisado por acción de la PGF_{2 α} , la cual es producida en el epitelio endometrial y vertida a la vena uterina, de donde por difusión pasa a la arteria ovárica y por contracorriente alcanza el cuerpo lúteo. Su efecto es el desencadenamiento de la muerte de las células luteales por apoptosis. Entre los días 11 y 15 del ciclo estral, el número de receptores endometriales para estrógenos (E₂) y oxitocina (Ox) aumentan. En contraste, los receptores para progesterona (P₄) disminuyen. Los estrógenos provienen de los folículos en crecimiento y la oxitocina del cuerpo lúteo. Los estrógenos, al unirse a su receptor (rE₂), inducen la expresión de receptores para oxitocina (rOx). En la célula endometrial, la unión de la oxitocina con su receptor estimula el clivaje del ácido araquidónico a partir de los fosfolípidos de la membrana y se produce la PGF_{2 α} .

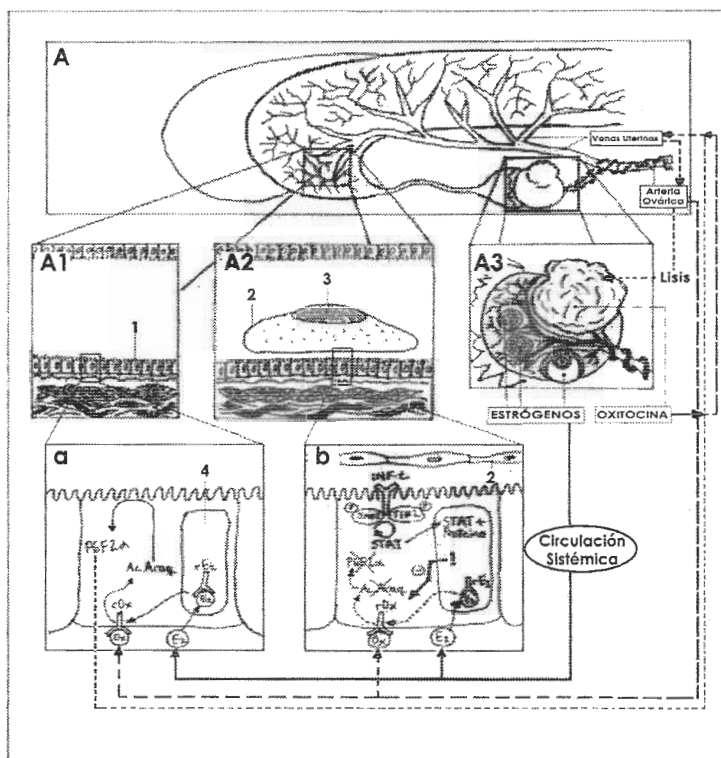
Señales luteotrópicas: el IFN- τ producido por el embrión desde el día 10, se liga a sus receptores en las células endometriales, lo que desencadena la inhibición de la expresión de receptores para estrógenos y oxitocina. Otros autores sugieren que al ligarse el interferón a su receptor de membrana, induce la vía de transcripción citoplasmática STAT, proteína que, fosforilada, forma un complejo que migra al núcleo. Allí se une a la región reguladora de los genes inductores del interferón que podrían bloquear uno o más pasos de la vía de síntesis de la prostaglandina.

En la yegua y en la cerda la lisis del cuerpo lúteo es inhibida por el embrión, por mecanismos diferentes al de los rumiantes. Los embriones porcinos producen dos interferones γ y ζ , sin embargo no son ellos los encargados de la señalización luteotrópica. El embrión porcino sintetiza y secreta estrógenos desde el día 12, y se ha propuesto que su efecto luteotrópico es a través del redireccionamiento de la secreción de PGF_{2 α} que, en lugar de moverse hacia las venas, se secreta al lumen uterino.

El embrión equino no se elonga sino que permanece esférico hasta el segundo mes de gestación. Su contacto con el endometrio lo logra migrando a lo largo del útero y en este periodo crítico recorre el útero cada dos horas. Se sabe que el factor luteotrópico no es el interferón. El reconocimiento de gestación en el equipo se lleva a cabo a través del recorrido del embrión por el útero donde secreta PGF_{2 α} y PGE₂ así como estrógenos por parte del saco vitelino. La secreción de prostaglandinas son bloqueadas por una sustancia hasta el momento desconocida, de la cual se sabe que es una proteína de bajo peso molecular, termolábil e hidrofílica en solventes orgánicos. Ésta impide que haya receptores para oxitocina y de esta manera evita que la PGF_{2 α} sea liberada de manera pulsátil.

Cuadro 9.3. Desarrollo del embrión en los estadios preimplantatorios

ETAPAS PREIMPLANTARIAS DEL EMBRIÓN EN EL	OVEJA	VACA	YEGUA	CERDA
Estadio mórula-blastocisto	5-6	4-8	6-15 (se mueve libre por los cuernos)	5-6
Eclósión o "hatching"	8	9	Se mantiene redondo	7
Elongación: período en el cual el corion llena los cuernos del útero	12	13		8-12 (movimiento libre a lo largo de los cuernos)
Precontacto: el trofoblasto, con una capa de células tallo, produce interferón-tau o estrógenos	13	17		13
Aposición: ocurre una interdigitación de las microvellosidades en la superficie entre la madre y el feto	15	18-19		14
Adhesión: las membranas en las cercanías del embrión se han adherido	16-18	22	Estadio de placenta	15-16



- A: Cuernos uterinos, ovario y su irrigación sanguínea
 A1: Sección del ápice del cuerno ipsilateral al cuerpo lúteo sin presencia del embrión
 A2: Sección del ápice del cuerno ipsilateral al cuerpo lúteo con presencia del embrión elongado
 A3: Ovario y sus estructuras entre los días 12-15 posteriores a la ovulación
 a: Diagrama de la vía luteolítica, b: Diagrama de las hipótesis de la vía luteotrópica
 1: Célula epitelial del endometrio; 2 y 3: Trofoblasto; 4: núcleo de la célula epitelial del endometrio

Figura 9.1. Vía luteotrópica y luteolítica dependiendo de la presencia o no de los embriones en el útero

9.4. NUTRICIÓN FETAL

El feto de las especies domésticas se nutre básicamente de dos fuentes que, en orden cronológico, son el histotrofo y el hemotrofo. El histotrofo o leche uterina se compone de las secreciones de las glándulas endometriales, elementos de descamación o desechos del endometrio y cierta cantidad de sangre materna extravasada. Este histotrofo es importante para el embrión durante el periodo de preadhesión o preimplantación, ya que en todas las especies domésticas, a excepción de las aves, el vitelo no contribuye en forma importante en la nutrición del producto; por lo tanto, éste se debe nutrir de elementos histotróficos. Una vez que se efectúa la adhesión o implantación embrionaria, se establece la comunicación entre la madre y el feto mediante las membranas fetales, quedando constituida la llamada unidad feto-placenta-madre. Desde este momento, el feto se nutre directamente de materiales absorbidos de la circulación materna, los cuales se denominan hemotrofo. Cabe aclarar que inclusive en el periodo de postimplantación, el útero seguirá secretando histotrofo aunque éste, como fuente de nutrientes del embrión, pasará a segundo plano.

9.5. TRANSPORTE DE NUTRIENTES

En el pasado se creía que el transporte de nutrientes a través de la placenta se llevaba a cabo por un proceso de difusión de un gradiente de alta concentración (sangre materna) a uno de baja concentración (feto). Esta creencia dio como consecuencia el término de barrera placentaria y además permitió que se afirmara que las placentas epiteliocoriales, por ejemplo, eran menos efectivas que las hemocoriales, ya que las primeras tenían que atravesar menos capas para llegar al feto.

En la actualidad se ha comprobado que si bien existe un mecanismo de difusión pasiva de nutrientes, la placenta es un órgano temporal capaz de establecer mecanismos de transporte activo, con lo cual el término barrera placentaria, desde el punto de vista de nutrición fetal, ha caído en desuso. Como comprobación de que esta creencia era equivocada, basta observar el grado de madurez de un potro o un becerro recién nacidos producto de placentas epiteliocoriales y el de un humano producto de placenta hemocorial.

9.6. CRECIMIENTO FETAL

Después de una etapa en la cual existe muy poco desarrollo del feto, finalmente hacia el último tercio de la gestación hay evidencia de un crecimiento acelerado, con un desarrollo exponencial del feto y de sus envoltorios

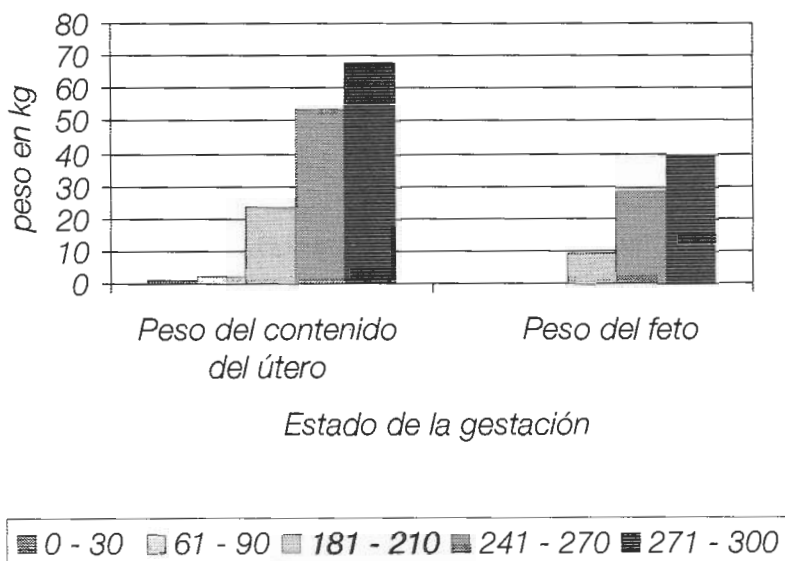


Figura 9.2. Crecimiento fetal en el bovino (adaptada de Salibury, *et al.*, 1972)

(figura 9.2). La mejor medida para calcular la edad de un feto es su longitud. Los dos factores más importantes que determinan el crecimiento fetal son la nutrición y el tamaño de la madre.

La nutrición fetal es muy importante durante el último tercio de la gestación, ya que es cuando el feto se desarrolla en forma acelerada. Por esta razón, durante este periodo es prioritario que la madre esté bien alimentada. El crecimiento fetal es importante para la producción animal, por su influencia en el peso al nacer, es decir, bajos pesos al nacer están asociados con alta mortalidad perinatal, bajas tasas de crecimiento y bajo peso adulto.

En contraste, fetos con altos pesos al nacer resultan en una mayor tasa de distocia y mayores intervalos entre partos.

9.7. ENDOCRINOLOGÍA DE LA GESTACIÓN

Todas las especies dependen de estrógenos y progesterona durante la gestación. En primera instancia, los estrógenos proveerán las condiciones adecuadas para el transporte de espermatozoides al sitio de fertilización y, posteriormente, la progesterona servirá para establecer el medio ambiente uterino adecuado para el bienestar del feto hasta el momento del parto. La progesterona será la encargada de producir el cierre del cérvix y ocasionará que las glándulas endometriales entren en fase secretora. Hay presencia constante de las dos hormonas cuyas concentraciones varían con las especies a lo largo de la gestación.

Una vez que el embrión ha sido reconocido por la madre, el cuerpo lúteo no sufre regresión, se estabiliza como un cuerpo lúteo de la gestación. Esta estructura es generalmente más ancha e histológica, y estructuralmente se le puede definir como típica productora de esteroides. La ovariectomía en cualquier momento de la gestación resulta en reabsorción o aborto de los embriones o fetos en la vaca, cabra, cerda, coneja y rata; no obstante, es posible mantener la gestación con inyecciones de progesterona. Aquellas especies que poseen una fuente extragonadal o extralútea de progesterona, pueden soportar la ovariectomía sin interrumpir la gestación. Esta fuente de progesterona es la unidad fetoplacenta-madre; los ovarios son dispensables en la mujer después del día 40, en la oveja después del día 55, y en la yegua después del día 140.

El principal estrógeno en los mamíferos es el estradiol 17β . La placenta es probablemente su principal fuente durante la gestación; entre tanto la manifestación de celo postparto en algunas especies es una evidencia de que los ovarios están preparados para secretar estrógenos en el fin de la gestación. Los estrógenos aparentemente son prerequisites para las acciones de otras hormonas; por ejemplo, para la progesterona en endometrio y en la glándula mamaria. Entre otras funciones, los estrógenos aumentan la multiplicación de las células epiteliales uterinas, hipertrofian la musculatura lisa uterina y facilitan la deposición de glicógeno en la musculatura lisa uterina y los vasos sanguíneos. Otras funciones menos específicas están relacionadas con el desarrollo uterino y fetal, principalmente para la satisfacción de las demandas energéticas crecientes.

La acción de la progesterona en úteros sensibilizados por los estrógenos es producir la proliferación progestacional, que representa el desarrollo de las glándulas endometriales, importante para la aceptación del embrión por la madre. Asimismo, tienden a inhibir las contracciones del miometrio. La concentración de progesterona crece a lo largo de la gestación de modo diferente en las especies mientras está constantemente presente desde la implantación hasta el parto. Otro efecto de la progesterona se da en la glándula mamaria, que desarrolla su condición adecuada para la lactancia.

La relaxina es una hormona proteica del cuerpo lúteo de la gestación que aumenta su concentración en la corriente sanguínea antes del parto, facilitando las modificaciones de las estructuras óseas y cartilaginosas de la hembra en trabajo de parto.

Diversos estudios han demostrado la importancia de las hormonas hipofisarias en la manutención de la gestación e inicio de la lactancia. La hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) actúan, respectivamente, como factores luteotrópicos para garantizar la presencia de la progesterona y para la manutención del desarrollo folicular en el periodo de gestación.

9.8. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE LA GESTACIÓN

El diagnóstico de una gestación positiva tiene implicaciones prácticas y biológicas en la dependencia de la especie que se considera. En la vaca, por ejemplo, el diagnóstico tiene mucha importancia económica para las fincas, ya que facilita la toma de decisiones relacionadas con las medidas de manejo en los animales durante las épocas de baja disponibilidad de alimento. Estas decisiones tendrán que ser tomadas para optimizar la fertilidad y la rentabilidad de los sistemas de producción.

Por lo general, la metodología diagnóstica varía o puede variar en función del estadio de la gestación. El cuadro 9.4 presenta un resumen de estos métodos para el diagnóstico de la gestación en la vaca.

Cuadro 9.4. Métodos del diagnóstico de gestación en la vaca en función del momento en que éste se realiza

ESTADIO DE LA GESTACIÓN (DÍAS)	METODOLOGÍA DIAGNÓSTICA
18-24	No retorno al celo
18-24	Persistencia del cuerpo lúteo en el ovario
22-26	Nivel de progesterona en el plasma o leche
30-35	Ultrasonido de tiempo real (5-7.5 Mhz)
30-65	Palpación de la vesícula amniótica
35-90	Asimetría del cuerno grávido y fluctuación del contenido uterino
35-90	Palpación del alantocorion (reflejo de la dupla pared)
Más de 70	Palpación de las carúnculas
Más de 90	Frémito de la arteria uterina media en el útero grávido
Más de 105	Sulfato de estrona en la leche
Más de 150	Frémito de la arteria uterina media en el útero no grávido

Adaptado de: Gordon, 1996, Controlled Reproduction in Cattle and Buffaloes. CAB International Wallingford, Reino Unido.

El método del no retorno a celo es útil para informar al productor que los animales cubiertos no retornaron al estro en un periodo de 18-23 días, lo cual sugiere que podrían estar gestantes. Infelizmente, la baja precisión de las observaciones de los celos es un factor fundamental en su uso práctico. Por otra parte, en sistemas extensivos de producción de carne, donde hay estaciones fijas de reproducción, su utilidad es muy baja una vez que los celos no se observan más, como en el ganado lechero. La simple visualización de los celos es, por lo tanto, un excelente método de diagnóstico negativo de gestación; entre tanto hay posibilidad de ocurrencia de celos en 1-10% de vacas gestantes entre los días 120 y 240 de la gestación, en función del

desarrollo folicular en sus ovarios y producción de estrógenos. En los ovinos el empleo de retajos o carneros vasectomizados por 21 días, con tinta negra en lo externo, después del final de la temporada de cubrición, es una buena alternativa para la separación temprana de las hembras no gestantes. O sea, las ovejas no gestantes o que sufrieron pérdida de sus embriones, estarán marcadas de negro y el productor podrá tomar una rápida decisión en lo que respecta a su permanencia en el hato.

La palpación de los genitales de las hembras es un procedimiento más sencillo y económico, siendo posible con una muy buena precisión en su ejecución, considerando las características descritas en el cuadro 9.3. Hoy, con el advenimiento de los equipos de ultrasonido, la facilidad para realizar un diagnóstico de gestación todavía más temprano es una realidad y esta técnica atiende a ciertas demandas de los productores. El tacto hecho por personas con algún entrenamiento no es peligroso para la salud del feto ni de la hembra. Por otra parte, el ultrasonido es el método de elección para el diagnóstico de gestación en pequeños rumiantes, considerando las peculiaridades anatómicas de acceso a los genitales.

La concentración de progesterona en el plasma sanguíneo o en la leche es un método auxiliar bastante efectivo a partir del día 30 de gestación, sobre todo en bovinos dedicados a la producción de leche. La progesterona puede ser identificada por métodos como el radioinmunoensayo, basado en detectar progesterona radiactiva, o el enzimoensayo, que es un método colorimétrico con menor especificidad que el radiactivo. La utilización de estos métodos es limitada por aspectos económicos y debido a la dificultad en la recolección, transporte y procesamiento de las muestras.

Las pruebas diagnósticas más tempranas están en desarrollo; participan de éstas los factores precoces de gestación responsables por reconocimiento materno del embrión y glicoproteínas de la gestación (bPAG), las cuales pueden tener importancia práctica futura con la modificación, intensificación y evolución de los sistemas de producción animal considerando el bienestar animal. Los siguientes factores han sido descritos como posibles pruebas de gestación: el EPF ("early pregnancy factor") una prueba de inhibición, compleja, poco repetitiva, todavía relacionada con la respuesta inmunológica materna en mujeres embarazadas; el PAF ("platelet activating factor"), basado en la presencia de glicerofosfolípidos acetilados de bajo peso molecular alrededor del embrión después de la fertilización. Expresión de interleucinas, el PIF ("preimplantation factor"), es un factor derivado del embrión que modula el sistema inmunológico celular.

Obviamente estas pruebas evolucionarán con el tiempo pero por el momento su empleo es limitado.

9.9. LITERATURA RECOMENDADA

- Allen, W.E. 1974. *Ovarian changes during gestation in pony mares*. Equine Vet J 6:135.
- Allen, W.R. 1970. *Endocrinology of early pregnancy in the mare*. Equine Vet J 2:64.
- Allen, W. R. 1979. "Maternal recognition of pregnancy and immunological implications of trophoblast endometrium interactions in equids". En: *Maternal recognition of pregnancy*. CIBA Foundation, Excerpta Medica, Amsterdam.
- Allen, W.R., Stewart, F. 2001. *Equine placentation*. Reprod Fert Develop 13:623.
- Barnea, E.R., Choi, Y. J., Leavis, P.C. 2000. "Embryo-maternal signaling prior to implantation". En: *Textbook of obstetrics & gynecology I*. Munteanu (Ed.), SIEP, Boston.
- Bazer, F.W., Thatcher, W.W., Sharp, D.C. 1980. *Establishment of pregnancy in domestic animals*. Proc. IX Intern. Congr. Anim. Reprod. and Artif. Insem. II:35.
- Catchpole, H.R. 1991. "Hormonal mechanisms in pregnancy and parturition". En: *Reproduction in farm animals*. P.T. Cupps (Ed.). 4a. ed., Academic Press, Nueva York.
- Cencic, A., La Bonnadière, C. 2002. *Trophoblastic interferon-gamma: Current knowledge and possible role(s) in early pig pregnancy*. Vet Res 33:139.
- Evans, H.E., Sack., W.O. 1973. *Prenatal development of domestic and laboratory mammals: Growth curves, external feature, and selected references*. Anat Histol Embryol 2: 11.
- Gordon, I. 1996. *Controlled reproduction in cattle and buffaloes*. CAB International Wallingford, Reino Unido.
- Salisbury, G.W., VanDemark, N.L., Lodge, J.R. 1978. *Physiology of reproduction and artificial insemination of cattle*. 2a. ed., W.H. Freeman and Company, San Francisco.

11. PUERPERIO Y ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FOLICULAR POSTPARTO*

MARTHA OLIVERA

- 11.1. PUERPERIO
- 11.2. EXPULSIÓN DE LA PLACENTA
- 11.3. INVOLUCIÓN UTERINA
- 11.4. ETAPAS DEL PUERPERIO
- 11.5. ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FOLICULAR
- 11.6. LITERATURA RECOMENDADA

11.1. PUERPERIO

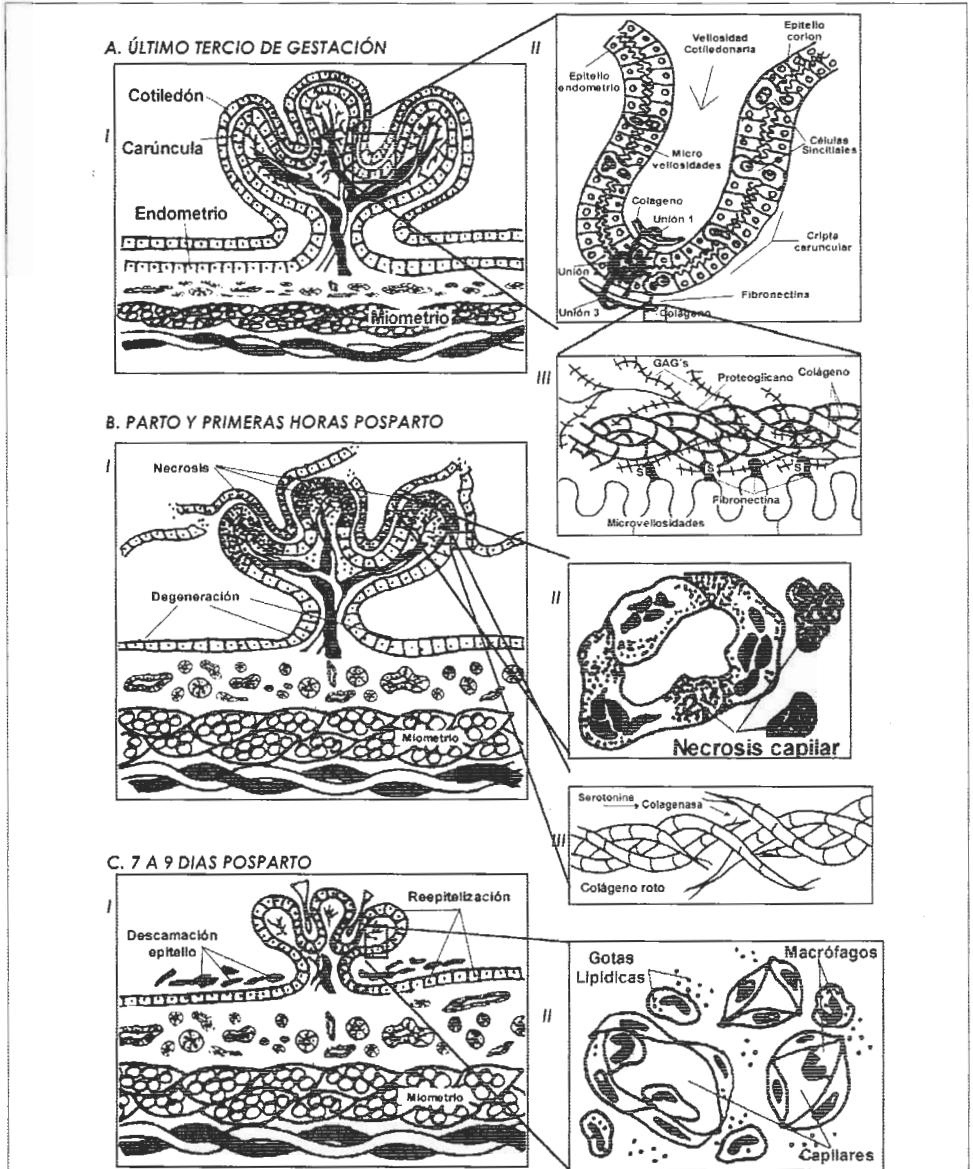
Puerperio (del latín *puer* = niño y *páreere* = parir) designa el espacio de tiempo entre la expulsión de la placenta y la involución del tracto genital a su estado anatómico y funcional previo a la gestación. Este periodo se caracteriza por modificaciones anatómicas, histológicas, citológicas, bacteriológicas y metabólicas del útero y su contenido.

La estructura del placentoma está constituida por el conjunto de la carúncula (materna) y el cotiledón (fetal). El cotiledón forma una bolsa que engloba a la carúncula y se cierra alrededor del tallo caruncular en forma de bolsa de tabaco; éste será el primer anclaje. En el interior de esa bolsa se entrelazan las vellosidades del cotiledón con las criptas de la carúncula estableciendo una apretada unión o cierre tipo “velcro” (epiteliocorial), operadas por microvellosidades de ambas caras (materna y fetal) en las cuales el colágeno y posiblemente la fibronectina constituyen el sustrato principal; así se constituye un segundo anclaje. Es a través de esta unión de epitelios que se da el intercambio materno-fetal (figura 11.1).

11.2. EXPULSIÓN DE LA PLACENTA

Los procesos metabólicos responsables del desprendimiento de la placenta y de la involución uterina son concomitantes con la iniciación del parto.

*Tiene como base el capítulo de la primera edición de *Reproducción de animales domésticos* “Puerperio”, elaborado por Javier Valencia.



A. ÚLTIMO TERCIO DE LA GESTACIÓN: (I) Distensión de las fibras miométriales. El placenta está conformado por la unión entre la carúncula materna y el cotiledón fetal. (II) El cotiledón fetal se proyecta en velosidades hacia las criptas carunculares. Ambas estructuras poseen epitelio cúbico-cilíndrico que se interrelaciona por medio de microvelosidades y, en algunas regiones, forman sincitios. Además, se fijan a su lámina basal (uniones 1 y 3) y se sostiene entre sí (unión 2) por medio del colágeno. (III) El tipo de unión entre las dos estructuras es por medio de puentes disulfuro de la fibronectina unida a proteoglicanos (con sus extremos de glucosaminoglicanos) y fibras de colágeno.

B. PARTO Y PRIMERAS HORAS POSTPARTO: (I) Degeneración celular del endometrio intercaruncular y necrosis en el epitelio del placenta. Dehiscencia placentaria. (II) Necrosis capilar. (III) Se aumentan las concentraciones de serotonina, la cual libera colagenasa que rompe las fibras de colágeno.

C. DÍAS 7 A 9 POSTPARTO: (I) Descamación y reepitelización endometrial. Fibras miométriales aumentan de diámetro acortándose. (II) Resorción grasa caruncular.

Figura 11.1. Involución uterina (modelo propuesto). (Adaptado de Badinand F. Involución Uterine, Chapitre IX, L'Utérus de la vache; y de Eiler H. Retained Placenta, Chapter 44, Current Therapy in Large Animal Theriogenology, Youngquist-Saundeis.)

Antes de la expulsión, el epitelio de las criptas maternas se aplana y aparecen células gigantes binucleares con gran actividad de fagocitosis y con capacidad de absorción de líquidos. Adicionalmente, la serotonina, que está presente en grandes concentraciones en la sangre fetal, induce la liberación de colagenasa por parte de células uterinas. La serotonina se considera la señal principal para que ocurra la degradación masiva de colágeno, que es el mayor agente adhesivo y constituye el 20-25% de la materia seca total del útero. El mecanismo mediante el cual la serotonina ejerce esta acción sería por vasoconstricción a nivel del placentoma.

En la vaca la separación de la placenta ocurre sin lesión de ninguno de los dos epitelios (adecidual), pero en la oveja sí tiene un efecto leve (decidua moderada), y fuerte en otras placentas invasivas (deciduales), como en el humano. La dehiscencia cotiledonaria o proteólisis, así como la disminución en la adhesividad (viscosidad) de la interfase cotiledón carúncula, es la clave para el desprendimiento no traumático de la placenta y, desde el punto de vista bioquímico, se debe al catabolismo del colágeno. En bovinos la placenta es liberada en la mayoría de los casos entre las 3 y las 6 horas posparto. Se considera que hay retención de placenta cuando la expulsión no ha ocurrido a las 12 horas.

El colágeno es una proteína fibrosa con estructura en forma de lazo, constituida por tres cadenas de polipéptidos trenzados. La composición aminoacídica es especial: un tercio de glicina y dos tercios de prolina e hidroxiprolina. El colágeno soluble es eliminado en forma de péptidos y aminoácidos, particularmente la hidroxiprolina que es excretada rápidamente por la orina.

Al momento del parto se encuentra 11% del colágeno soluble, lo que corrobora que la colagenasa ya ha empezado su acción. Al cuarto día el colágeno soluble aumenta a 16% y al día 30 a 24%. Consecuentemente, con la desintegración del colágeno aumentan en sangre la glicina y la hidroxiprolina; así, las concentraciones de colágeno soluble en biopsias de tejido uterino y las concentraciones plasmáticas de hidroxiprolina y glicina son indicadores directos de la tasa de involución.

11.3. INVOLUCIÓN UTERINA

Después del parto, el útero es un saco grande y vacío, que pesa alrededor de 9 kg; este peso debe reducirse a 1 kg al cabo de 30 días si la involución ocurre normalmente. Por su parte, el cuerno previamente gestante mide alrededor de 1 m de longitud y 40 cm de diámetro. La reducción de volumen y peso se efectúa de manera logarítmica: en 5 días el diámetro se reduce a la mitad, la longitud alcanza

50 cm en 10 días; el peso se reduce a 4.5 kg en una semana. Este peso permanece estacionario por 25 días más. El cuello involucrea más lentamente, pues demora entre 50 y 60 días para alcanzar el tamaño de una vaca vacía normal. El tiempo promedio de involución uterina oscila entre 25 y 45 días.

El reflejo de Ferguson durante el parto induce la liberación de oxitocina, responsable mayor de las contracciones uterinas cambiando la contractibilidad de las células miométriales; su acción contribuye a eliminar las membranas placentarias y a disminuir el lumen uterino. Esto es posible porque la oxitocina permite que las células musculares se acorten después de cada contracción. La acción del reflejo de Ferguson es remplazado por el efecto temprano del recién nacido que estimula, mediante la succión, la liberación de oxitocina que permite la contracción uterina al menos durante dos días, aunque cada vez es más tenue y espaciada, lo que permite la retracción del útero y la disminución del tamaño de las miofibrillas. Las fibras musculares lisas longitudinales y circulares se contraen sin relajarse completamente; al momento del parto tienen un diámetro de 700 μ y tres días más tarde éste se ha reducido a menos de 200 μ .

11.3.1. Los loquios

Se llama loquios (del griego *lochios* = relacionado con el nacimiento) al líquido que se acumula en el útero normalmente después del parto. Este material está formado por elementos procedentes de la reparación del útero, además de secreciones de las glándulas de la mucosa uterina, glóbulos rojos, leucocitos, células epiteliales de descamación y bacterias. El volumen de este contenido es normalmente alrededor de un litro y medio, al segundo día posparto; en dos semanas se reduce a 400 ml para desaparecer completamente a las tres semanas. El flujo, sin embargo, no es regular: es abundante en los cuatro primeros días, desaparece luego hasta el día 10, cuando reaparece y se mantiene hasta el día 12.

Las características de los fluidos uterinos dan una idea de la normalidad con que está ocurriendo el proceso de involución uterina. En el primero y segundo días posparto los fluidos son serosanguíneos, pero su aspecto cambia cuando comienza la disolución de las carúnculas en donde aparecen cantidades variables de sangre y el fluido se vuelve más denso. Entre los días 7 y 14 del puerperio, en los loquios se encuentra sangre proveniente del tejido caruncular: el color cambia de rojo oscuro hasta café achocolatado y luego se torna cristalino semejante al moco estral, aunque mezclado con material de disolución caruncular, dando la impresión de material purulento; sin embargo, no tiene olor putrefacto, ni fétido, lo que significa que la involución está transcurriendo normalmente. El aspecto purulento de los loquios se considera normal hasta los 18 días después del parto.

Concomitante con el parto, el saco uterino se contamina con bacterias, como consecuencia de la apertura del cuello. Los microorganismos más frecuentes son *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Actynomices pyogenes*, *E. coli*, y *Proteus*. Estos agentes se multiplican rápidamente, alcanzando concentraciones máximas hacia el día 9 posparto, pero la acción fagocítica y bactericida de polimorfonucleares y de macrófagos logra su erradicación a partir de la tercera semana.

El útero tiene la capacidad de resistir y combatir exitosamente la infección bacteriana temprana posparto. El endometrio produce 13,14-dihidro-15-ceto-PGF2 α (PGFM), metabolito de la PGF2 α , en concentraciones, entre el día 0 y 6 posparto, del orden de 2.160 pg/ml; a medida que avanza el puerperio (día 7 a 14) disminuye la producción (957 pg/ml), y entre los días 15 a 35 se encuentran concentraciones entre 400 a 480 pg/ml. La prostaglandina F2 α y otros metabolitos del ácido araquidónico, potencian la función inmune, lo que a su vez facilita la actividad quimiotáctica para los neutrófilos, aumentando la capacidad fagocítica importante no sólo para erradicar bacterias sino también para limpiar de detritus los loquios y el útero. Como no es muy probable que ocurra una ovulación antes del día 21 posparto, no habrá producción de progesterona que interfiera con la secreción de PGF2, y de esta manera se mantiene la acción inmunopotenciadora.

En el útero de vacas con involución normal también se producirá PGE₂, pero en menores concentraciones que la PGF2 α . Cuando la involución se retarda, especialmente en los animales que retienen la placenta, esta relación cambia. Se ha demostrado que la prostaglandina E₂, a diferencia de la F2 α , reduce la proliferación de linfocitos T y la producción de interleuquina-2 (IL-2), así como su receptor. La interleuquina-2 es una citoquina que se produce como consecuencia de la activación de los linfocitos T y es necesaria para el buen funcionamiento de los linfocitos T y B; esto es, para la producción de anticuerpos y para las respuestas de inmunidad celular. La presencia de altas concentraciones de PGE₂ contribuye a la disminución de la concentración de inmunoglobulinas y a la reducción de la actividad citotóxica de los linfocitos, retardando así la involución y aumentando la incidencia y severidad de la infección uterina en la vaca.

11.3.2. Células endometriales

El epitelio intercaruncular y glandular sufre un proceso similar de degeneración y descamación, tal como ocurre en las carúnculas (degeneración hidrópica y necrosis fibrinoide) (figura 11.2). Al mismo tiempo, y desde el primer día, aparece un epitelio nuevo, el cual recubre progresivamente todo el endo-

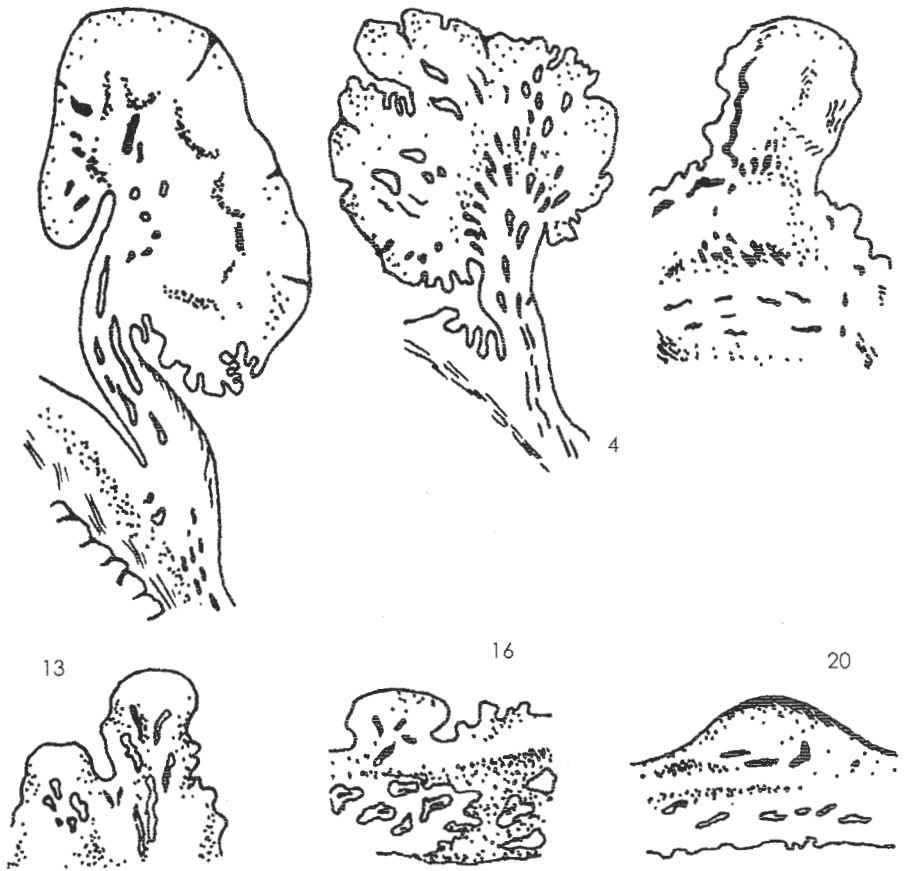


Figura 11.2. Diagrama de la regresión de la carúncula materna (vaca). Los números indican los días postparto. Nótese la disolución de la carúncula entre los días 10 y 13 y la regresión de la carúncula hasta su tamaño normal 20 días después del parto. [Adaptada de Rasbech, E. Nord. Vet. Med. 2:655:687 (1950)]

metrio, incluidas las carúnculas. La neopitelización se completa entre 15 y 30 días. En la pared endometrial aparecen histiocitos, monocitos, mastocitos y polimorfonucleares, así como células gigantes multinucleadas. La estructura histológica normal se alcanza entre los 30 y 40 días.

11.4. ETAPAS DEL PUERPERIO

Puerperio temprano: esta etapa comienza 6 horas después del parto, con la expulsión de la placenta, y dura 10 días. La vaca expulsa una pequeña cantidad de los loquios a través de la vulva, pero la mayor parte es absorbida en el útero. Si se está llevando a cabo una involución normal, el útero se contrae fuertemente cuando se le palpa presentando gran cantidad de pliegues; hasta el sexto día el útero aún no se puede abarcar con la mano. Si el útero se encuentra sin tono y con contenido de líquidos, se debe realizar el

examen vaginal. Durante los primeros dos días postparto el canal cervical se puede pasar con la mano fácilmente; allí se debe revisar que no hayan quedado restos de placenta en el ápice de los cuernos; a partir del tercer día, solamente se pueden introducir uno o dos dedos en la *os cérvix*.

Puerperio clínico: es el periodo en el que el útero vuelve a alcanzar el tamaño del de una vaca no preñada; dura unas 3 semanas y es posterior al puerperio temprano. Al final de esta fase el endometrio está regenerado y el cuello está cerrado, aunque su tamaño es aún grande. El cuerno uterino no gestante regresa a su tamaño original casi completamente, mientras que el que alojaba el feto, así como el cuello, permanecen ligeramente aumentados de tamaño. El proceso de regeneración de las glándulas endometriales se prolonga aproximadamente por 2 días. Externamente, no se encuentra ningún indicio de que el animal dio a luz recientemente, pero a la palpación se pueden encontrar los signos descritos. En este periodo se establece el ciclo estral en vacas productoras de leche.

11.4.1. Manejo del puerperio

La retención de placenta es la anormalidad más frecuente del puerperio y se presenta por lo general en ganado especializado en producción de leche. La mayor parte de las vacas expulsa la placenta entre 6 y 12 horas después del parto, pero se encuentran reportes que incluyen porcentajes de 9.4% de animales que presentan retención; y ésta puede llegar hasta los 5 y 7 días postparto. La retención predispone al animal a presentar infecciones endometriales graves y, en este caso, hasta en 53% de los animales el problema puede ser tan prolongado que llega a afectar la fertilidad futura con todas las consecuencias económicas y sociales que conlleva una disminución en la producción.

Una característica etológica relativamente común en los herbívoros es la ingestión de los tejidos placentarios; esto se ha explicado como una estrategia para evitar la llegada de predadores que pongan en peligro al ternero. En estudios realizados en sistemas extensivos de ganado Cebú en Colombia, se observó placentofagia en 36.6% de las vacas; y este comportamiento se asocia con el momento en que se desprende la placenta: si esto ocurre cuando la madre está dedicada al acicalamiento de la cría, generalmente ocurre la placentofagia, pero no es muy probable que ocurra si el desprendimiento ocurre después de tres horas postparto. Además, se observó que este comportamiento es más frecuente en novillas que en vacas.

En el periparto se recomienda reunir las vacas en el llamado “paridero”; ahí se vigila el transcurso del parto para mejorar las posibilidades de in-

tervención en caso de distocia; se auxilia al ternero en caso de debilidad para levantarse a mamar el calostro en forma oportuna y, muy especialmente, para evitar predadores como caninos y aves carroñeras. Los predadores no sólo pueden transportar la placenta a otros sitios próximos o lejanos y con ella posibles infecciones (*B. abortus*, por ejemplo), sino que también pueden agredir a la madre que tenga tejidos placentarios que aún no se hayan terminado de expulsar y adicionalmente pueden herir y matar al recién nacido. Las aves, particularmente, tienen la tendencia a picotear los ojos, el ombligo y el ano de aquellos terneros que no se levantan prontamente. Se recomienda recoger la placenta y enterrarla o incinerarla; ayudar a levantar el ternero y darle la teta si al cabo de tres o cuatro horas no lo ha hecho espontáneamente; esto es necesario no sólo para la nutrición y la inmunidad de la cría, sino para estimular la secreción de oxitocina que estimule las contracciones uterinas y la lactancia de la madre.

Investigaciones recientes han demostrado que aun en ganado dedicado a la producción de leche y en sistemas intensivos, favorecer que las hembras tengan su parto en el corral, a diferencia de los tradicionales parideros, reduce considerablemente la incidencia de retención placentaria. Es recomendable que el clínico a cargo de la empresa pecuaria tome en cuenta las dos escuelas de pensamiento sobre el manejo del parto e investigue, sea cual fuere el sistema utilizado, la magnitud del problema antes de tomar una decisión que podría ser incorrecta para las condiciones particulares de la empresa pecuaria en cuestión.

11.5. ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FOLICULAR

En las vacas productoras de leche la secreción de FSH aumenta en el posparto temprano a partir del quinto día y se mantiene activa hasta el restablecimiento del ciclo estral. Las concentraciones de LH aumentan de manera diferencial, lentamente, entre el parto y el día 10, a partir del cual comienza a pulsar. La frecuencia de éstos (determinados por la frecuencia del pulso de GnRH) aumenta hasta alcanzar un pulso cada hora, para que finalmente ocurra la ovulación. La pulsatilidad parece ser necesaria para que la LH induzca el crecimiento folicular a tamaños ovulatorios. Posterior a la ovulación, la frecuencia de los pulsos de GnRH y LH se reducen a uno cada cuatro o seis horas.

El restablecimiento de la actividad ovárica posparto se alcanza cuando empieza a ocurrir el patrón de ondas foliculares, consistentes en la emergencia de una cohorte de folículos, la divergencia de uno de ellos y la consecuente dominancia. La *emergencia* se refiere a la aparición de una cohorte de folículos pequeños, aproximadamente de 4 mm de diámetro, estimulados

por la FSH. La *divergencia* está definida como el comienzo de la mayor tasa de crecimiento entre un folículo más grande (folículo dominante) y el siguiente (folículo subordinado); ésta es la indicación de que un folículo ha sido seleccionado y ocurre cuando el promedio de tamaño de los folículos de la cohorte alcanza un diámetro de 8 a 9 mm; en este mismo momento las concentraciones de FSH han alcanzado su punto más bajo (por acción conjunta de la inhibina y el estradiol producidos en los mismos folículos). En este periodo la capacidad de respuesta de los folículos a los constantes pulsos de LH va en aumento.

La dominancia se caracteriza por la presencia de un folículo que domina, esto es, impide que se reclute una nueva cohorte de folículos, e induce la atresia de los de su misma cohorte; este folículo dominante crecerá hasta estadios ovulatorios (entre 10-20 mm) y se caracteriza por producir grandes concentraciones de estradiol que alcanzan la circulación e inducen el pico preovulatorio de LH; si esto no ocurre sobreviene la atresia y la posterior aparición de una nueva cohorte.

En el posparto los animales movilizan reservas grasas para iniciar y mantener la lactancia y, de esta manera, entran en un estado de balance energético negativo del cual se recuperan entre 4-14 semanas después si la alimentación es apropiada. Durante este lapso, en condiciones normales se incrementa el consumo de materia seca.

La cohorte folicular que emerge tempranamente después del parto, producida por la pronta liberación de FSH, no continúa hasta la divergencia mientras que el animal se mantenga en balance energético negativo. Una posible explicación puede estar relacionada con las pobres concentraciones de estradiol (producidas por los folículos emergentes) y la acción de la leptina (hormona encargada de presentar el balance energético del animal), que actuarían como inhibidores de la secreción de GnRH hipotalámica y, por tanto, de los pulsos de LH (figura 11.3). De esta manera, no ocurre la divergencia, o bien el folículo dominante no alcanza el tamaño ovulatorio y ocurre la atresia, como se dijo anteriormente, para iniciar la emergencia de una nueva cohorte de folículos.

La vaca productora de carne, a pesar de tener una menor producción de leche, también pasa por un balance energético negativo, y además, a diferencia de la vaca productora de leche, su recuperación ovárica se afecta por la presencia permanente del ternero.

Varias investigaciones han aportado información para proponer un modelo para estas interacciones. Por acción de la liberación temprana de FSH, los folículos alcanzan el tamaño de emergencia (en este tamaño producen poco 17α estradiol). La frecuencia de succión y la presencia del ternero

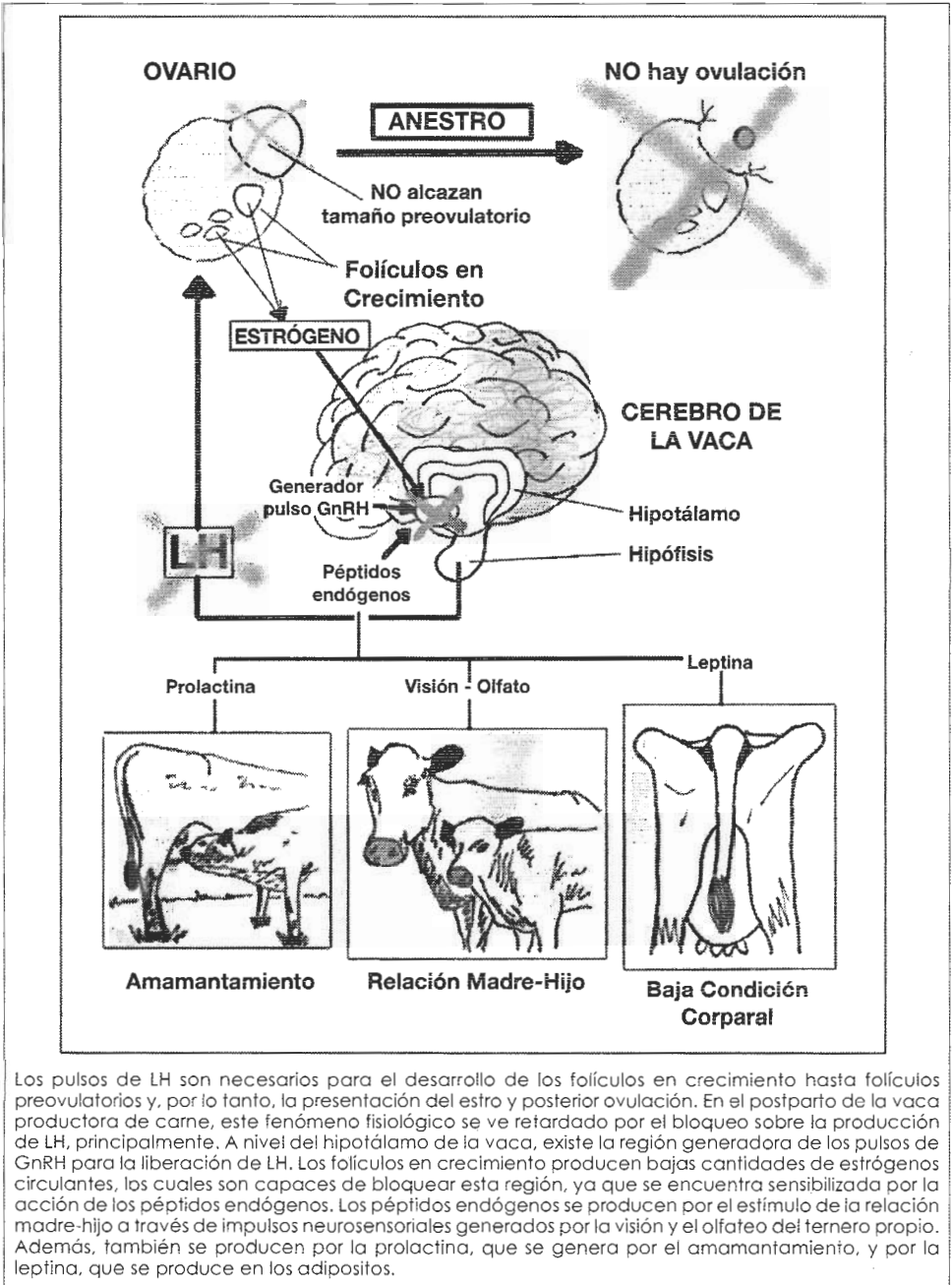


Figura 11.3. Modelo de recuperación ovárica postparto en vacas productoras de carne (modelo de Carlos Giraldo)

(lazo afectivo y prolactina) inducen la liberación de péptidos endógenos que hipersensibilizan la región generadora del pulso de GnRH en el hipotálamo a las bajas concentraciones de estrógenos circulantes, lo que produce una inhibición de la liberación de GnRH-LH; así, los folículos no alcanzan

la divergencia o si la alcanzan no llegan a la dominancia y por consiguiente se atresian. El efecto del ternero se debilita a medida que transcurre el período postparto, que en el ganado productor de carne podría ser a partir de los 30 días; sin embargo la condición corporal de la madre que depende de la oferta y calidad del forraje ofrecido, también afecta el restablecimiento de la ciclicidad, lo que puede alargar el intervalo entre el parto y el primer calor entre 5 y 8 meses.

Algunos autores proponen que la leptina, hormona secretada por los adipositos, actuaría como mensajero al hipotálamo de la cantidad de energía almacenada en el organismo, y en caso de permanecer en balance energético negativo, inhibiría la liberación de GnRH-LH. La medida indirecta de este balance se hace a través de la condición corporal.

En los países tropicales y subtropicales encontramos tres formas de producción bovina: la especializada en leche, basada en razas como Holstein; la especializada en carne, como los ganados cebuinos; y la "doble propósito" con base en cruces de *Bos indicus* y *Bos taurus*, con sistema de ordeña apoyados en el ternero. Cada uno de estos sistemas tiene sus propias especificidades y problemas durante el puerperio.

En las vacas especializadas en producción de leche (en el trópico alto), la primera ovulación puede ocurrir a los 15 días posparto, pero el estro es silencioso, la calidad del cuerpo lúteo es pobre (medida por las concentraciones de progesterona) y su duración es corta. Si la vaca alcanza el balance energético, se restablece el ciclo estral. Sin embargo, en la mayor parte de los trabajos realizados en el trópico alto, donde se ha analizado el número de días abiertos, el periodo varía entre 40 y 120 días, lo que se correlaciona con la calidad del manejo, y muy especialmente con la alimentación y el confort del que disfrutaban los animales.

Los estudios en diferentes lugares donde se produce carne con base en ganados cebuinos o sus cruces, muestran resultados muy diversos, periodos abiertos que pueden oscilar entre 30 y 220 días. Esto demostraría la influencia no solamente del ternero sino de la calidad de la alimentación. En algunos casos la vaca entra en calor sólo hasta que se ha destetado. Las vacas doble propósito son animales media sangre o tres cuartos que se ordeñan durante 4 a 7 meses, tiempo durante el cual, además de ser ordeñadas, permanecen gran parte del día con el ternero; estos animales, dependiendo de las condiciones de alimentación, manejo y confort, pueden recuperar la función ovárica con periodos tan variados que van entre 40 y 180 días.

En conclusión, podemos decir que en vacas productoras de leche el puerperio y la recuperación ovárica postparto son más cortos si todo transcurre

normalmente, pero, al mismo tiempo, éste es el tipo de ganado en el que ocurre la retención de placenta y las infecciones con más frecuencia. La vaca productora de carne y doble propósito no presenta mayores problemas en el puerperio, pero su restablecimiento ovárico es más demorado, debido a la gran inversión energética que requiere para mantener al ternero.

11.6. LITERATURA RECOMENDADA

- Ginther, O.J., Beg, M.A., Bergfeld, D.R., Donadeu, F.X., Kot, K. 2001. *Follicle selection in monovular species*. Biol Reprod 65: 638.
- Henaó G., Olivera-Ángel, M., Maldonado-Estrada, J.G. 2000. *Follicular dynamics during postpartum anestrus and the first estrous cycle in suckled or non suckled Brahman (Bos indicus) cows*. Anim Reprod Sci 63:127.
- Moschos, S., Chan, J., Mantzoros, C. 2002. *Leptin and reproduction: A review*. Fert Steril 77: 433.
- Reilas, T., Katila, T. 2002. *Proteins and enzymes in uterine lavage fluid of postpartum and nonparturient mares*. Reprod Domest Anim 37: 261.
- Ruiz-Cortés, T., Olivera-Ángel, M. 1999. *Ovarian follicular dynamics in suckled zebu cows (Bos indicus) monitored by real time ultrasonography*. Anim Reprod Sci 54:211.
- Seals, R.C., Matamoros, I., Lewis, G.S. 2002. *Relationship between postpartum changes in 13,14- dihydro-15keto-PGF2a concentrations in Holstein cows and their susceptibility to endometritis*. J Anim Sci 80:1068.
- Serrano, C., Olivera-Ángel, M. 1997. *Caracterización de la función luteal durante el primer ciclo posparto inducido por medio de un progestágeno en vacas cebú Brahman en amamantamiento*. Rev Col Cien Pec 10:29.
- Wiltbank, M.C., Gümen, A., Sartori, R. 2002. *Physiological classification of anovulatory conditions in cattle*. Theriogenology 57:21.
- Yavas, Y., Walton, J.S.Y. 2000. *Induction of ovulation in postpartum suckled beef cows: A review*. Theriogenology 54:1.

13. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

PAULO BAYARD DIAS CONÇALVES / JAVIER VALENCIA

- 13.1. INTRODUCCIÓN
- 13.2. ALTERACIONES BIOQUÍMICAS DEL SEMEN Y MODIFICACIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA DURANTE LA CRIOPRESERVACIÓN ESPERMÁTICA
- 13.3. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL BOVINO
- 13.4. EVALUACIÓN DEL SEMEN
- 13.5. PROCESAMIENTO DEL SEMEN
- 13.6. LITERATURA RECOMENDADA

13.1. INTRODUCCIÓN

La inseminación artificial es una técnica que permite un mejor uso del material genético de los machos cuyas características zootécnicas son superiores a la mayoría de los animales de su especie. Desde el punto de vista productivo, representa una posibilidad para aumentar la eficiencia en la producción de las especies domésticas.

13.1.1. Definición

La inseminación artificial consiste en la introducción del semen en los órganos genitales de la hembra sin la intervención del macho, facilitando la fecundación y producción de una cría.

13.1.2. Ventajas y desventajas de la inseminación artificial

a) Ventajas:

- Permite el mejoramiento genético acelerado, mediante el uso de sementales probados.
- Mejor utilización del semental, ya que a partir del eyaculado es posible inseminar a varias hembras.
- Evita la transmisión de enfermedades venéreas.
- Facilita el transporte y la distribución del semen.
- Evita la presencia del macho en el hato y el gasto de su manutención, así como el peligro que representa.

- Estimula el uso de registros.
- Facilita la implementación de programas de sincronización y cruzamientos.
- Posibilita la adquisición de semen de animales valiosos por parte de ganaderos de escasos recursos.

b) Desventajas:

- Implica un dominio de la técnica.
- Se requiere detección del estro.
- Puede diseminar características indeseables.

13.2. ALTERACIONES BIOQUÍMICAS DEL SEMEN Y MODIFICACIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA DURANTE LA CRIOPRESERVACIÓN ESPERMÁTICA

El espermatozoide es una célula altamente especializada, constituida por tres segmentos: a) cabeza, la cual contiene el DNA, responsable del material genético masculino en la fecundación; b) pieza intermedia, que contiene mitocondrias importantes para la producción de energía; y c) cola, importante para la motilidad espermática. La parte anterior de la cabeza espermática está cubierta por el acrosoma, el cual se extiende hasta la región ecuatorial. El acrosoma está constituido por dos membranas (interna y externa) y contiene enzimas importantes para la fecundación. Externamente, la célula espermática está envuelta por una membrana plasmática. Cada segmento de la célula espermática es fundamental para el transporte de la misma por el aparato genital, la interacción con el ovocito y, por supuesto, la fecundación.

La membrana plasmática que envuelve al espermatozoide tiene un papel importante durante el transporte espermático en el aparato genital femenino y en la interacción con el óvulo. La composición, estabilidad, fluidez y permeabilidad de la membrana plasmática son factores esenciales en la capacitación espermática, así como las modificaciones que sufre durante el transporte espermático en el aparato genital masculino, en el eyaculado y en el paso por el aparato genital femenino. La membrana plasmática contiene fosfolípidos (fosfoglicerolípidos y esfingomielina), lípidos neutros y glicolípidos. Estos lípidos y las proteínas integrales de la membrana son distribuidos asimétricamente entre los diferentes segmentos del espermatozoide. En la membrana plasmática, las glicoproteínas y lípidos específicos forman los denominados glicocálices, los cuales probablemente están involucrados en la interacción con el ovocito.

En la criopreservación ocurre una pérdida de los espermatozoides viables de alrededor de 50 a 60%, aun en los mejores sistemas de congelamiento espermático. Esta baja sobrevivencia de las células espermáticas se debe principalmente a lesiones funcionales y estructurales de la membrana plasmática y cambios bioquímicos. El proceso de congelación-descongelación induce cambios en la membrana plasmática de los espermatozoides semejantes a los de la capacitación, por lo que este fenómeno se conoce como criocapitación. Además, existen alteraciones morfológicas en la teca perinuclear —principal citoesqueleto de la cabeza del espermatozoide de los mamíferos—, que pueden influir en la capacidad fertilizante, ya que esta estructura es indispensable para mantener funciones importantes del espermatozoide, como son la regulación del volumen celular (ósmosis) y la integridad acrosomal.

13.3. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL BOVINO

13.3.1. Colección del semen bovino

Básicamente existen tres métodos de colección de semen en el toro:

1. Vagina artificial.
2. Electroeyaculación.
3. Masaje de las ampollas deferentes.

13.3.2. Vagina artificial

Es el método de elección en el bovino, ya que el eyaculado obtenido es normal y representativo del toro en ese momento. La vagina artificial consta de un tubo rígido de hule, con una válvula exterior; por el lumen del tubo se introduce una manga de látex, la que se dobla sobre los extremos del tubo creando así una recámara de aire. Después, un cono de látex con un tubo de centrifuga graduado se fija a uno de los extremos y al tubo de hule se le introduce agua caliente; la temperatura de la vagina se debe medir con un termómetro de columna móvil, limpio, y al momento de la colección de semen debe ser de 42 a 45 °C; ésta varía dependiendo del toro.

Para la monta se utiliza un señuelo que puede ser una vaca que no esté en calor, un macho e incluso un maniquí. La desventaja de usar una vaca consiste en que el toro podría llegar a cubrirla en un descuido del operador, existiendo el grave peligro de la transmisión de alguna infección venérea, como la tricomoniasis o la campilobacteriosis.

Antes de colectar el semen se tienen en cuenta dos aspectos muy importantes: la higiene y el estímulo del semental. Antes de la monta deberá bañarse al semental o por lo menos lavar con agua y secar perfectamente el vientre y la zona del prepucio; el mechón de pelos del orificio prepucial estará limpio y los pelos se cortarán a una longitud de aproximadamente 2 cm. La vagina artificial y el material de vidrio que vaya a entrar en contacto con el semen, se lavará con agua, y en caso de usar jabón, es necesario enjuagarlos perfectamente; el enjuague final debe realizarse con agua desionizada, con el objeto de que al secarse no deje residuos de sales. Tanto el jabón como las sales y metales alteran o matan a los espermatozoides. Evite el contacto del semen con el agua, porque ésta es hipotónica y afecta igualmente a los espermatozoides, además de acarrear gérmenes que pudieran contaminar el eyaculado. Por lo mismo, es importante revisar que la vagina artificial no presente perforaciones.

Cuando se usa vagina con manga de látex lisa, no es necesario usar lubricante. Si la manga de látex es rugosa, se recomienda utilizar una pequeña cantidad (1 cc) de jalea lubricante estéril.

El método más efectivo para estimular al toro es la monta falsa, que consiste en permitir al semental montar sobre el señuelo y desviar el pene tomando con la palma de la mano la piel del prepucio sin ofrecerle la vagina artificial. Después de algunos segundos de intento de búsqueda de la vagina, el animal desciende; nunca se debe tocar con la mano la mucosa del pene. En el siguiente intento de monta se coloca la punta del pene desviado en la entrada de la vagina; inmediatamente después, el toro se lanza hacia adelante en un empuje final que acompaña a la eyaculación.

La monta falsa en el caso del bovino aumenta la calidad del semen en cuanto a volumen, concentración espermática y motilidad, no así en el equino, en donde la sobreestimulación produce únicamente aumento de la porción gelatinosa del eyaculado. En el toro y otros rumiantes, la temperatura de la vagina es el estímulo más importante para la eyaculación. En toros incapacitados para montar, el semen se puede obtener con el animal de pie, estimulando la erección mediante la presencia de una hembra y colocando la vagina artificial en el pene.

La vagina artificial es solamente un tubo que en el momento de la eyaculación permite el paso del pene; el semen se deposita en el cono de látex y el tubo graduado. Cuando la vagina artificial es muy larga o el empuje final del toro fue insuficiente, el eyaculado permanece en la vagina, lo cual lo inhabilita por la alta temperatura.

En toros incapacitados para montar, el semen se puede obtener con el animal de pie, estimulando la erección mediante la presencia de una hembra y colocando la vagina artificial en el pene.

13.3.3. Electroeyaculación

Este método se utiliza en toros que por alguna causa no pueden montar, como por ejemplo aquellos que padecen poliartritis, espondiloartritis, fracturas o anquilosis, o bien en toros de algunas razas de bovinos productores de carne, especialmente las cebuinas, ya que el manejo a que están sometidos estos toros es diferente, y si no se les ha entrenado previamente, sólo un número reducido de ellos acepta la vagina artificial.

Un electroeyaculador es un regulador de corriente eléctrica que varía entre 0 y 30 voltios, con una corriente máxima de 2 amperes. El estímulo se conduce a través de un alambre que comunica al aparato hasta un cilindro provisto de electrodos en forma de placas longitudinales en su superficie. Para la contención se utiliza un potro fijo, en el cual se inmoviliza al toro.

El cilindro del electroeyaculador se lubrica y se introduce por el ano en la región rectal ocupando la cavidad pélvica. La emisión del semen se logra al estimular los nervios simpáticos lumbares (hipogástrico) en la parte más anterior de la cavidad pélvica. Los nervios sacros que causan erección y eyaculación están localizados en una zona posterior. Al aplicar el estímulo, éste debe ser intermitente, rítmico, y su intensidad deberá aumentarse paulatinamente hasta que se produzca la eyaculación. El semen se recoge colocando el embudo con el tubo colector en la punta del glande del pene.

Las desventajas de la electroeyaculación son:

- No se está evaluando la libido del semental.
- Se obtiene mayor volumen, pero baja concentración espermática.
- El semen se contamina fácilmente.
- No siempre hay erección.
- Algunos toros se dejan caer durante el estímulo.

En la actualidad existen electroeyaculadores con electrodos localizados solamente en la parte inferior del cilindro con resultados óptimos en lo que se refiere a la erección del pene y eyaculación, sin reacciones violentas del animal.

13.3.4. Masaje de las ampollas deferentes

Este método consiste en estimular los órganos accesorios de la cavidad pélvica y efectuar el masaje de las ampollas deferentes por vía rectal. El éxito no siempre se consigue y, en general, la muestra es pobre y de baja calidad. Otra técnica consiste en el masaje del pene a través del prepucio con el animal en pie; sin embargo, no es factible realizarla en todos los toros.

13.4. EVALUACIÓN DEL SEMEN

Después de su obtención, el semen se coloca en baño María a 30-32° C y se procede a evaluar las siguientes características.

Volumen. Sólo es significativo si se usó la vagina artificial. Se mide directamente en la graduación en ml del tubo de centrífuga o recipiente colector.

Color y aspecto. Usualmente el semen del toro es de color blanco marfil y su aspecto varía entre acuoso, lechoso y cremoso, dependiendo de la cantidad de espermatozoides que contenga. El color amarillo limón que se observa en algunos toros es normal. Se debe a la presencia de riboflavina y es una característica hereditaria sin influencia alguna sobre la fertilidad. El color rojo o café indica que contiene sangre fresca o sangre vieja.

Concentración espermática o densidad. Es el número de espermatozoides por mm³ o cc.

La concentración normal del semen de bovino es de 800 a 1,200 millones de espermatozoides por centímetro cúbico (ml), o sea, 0.8 a 1.2 millones por mm³.

La concentración o densidad se calcula por varios métodos:

- a) Hemocitómetro de Spencer. Este método es el mismo que se utiliza para el conteo de glóbulos rojos. La dilución se efectúa con la pipeta de glóbulos rojos (dilución 1:100 o 1:200) utilizando una solución salina al 3% con formalina para matar a los espermatozoides y poder contarlos sobre la cuadrícula de cámara de Spencer.
- b) Espectrofotómetro y fotocolorímetro. Consiste en hacer una dilución del semen 1:40 y medir la transmisión de la muestra en el aparato. Previamente se construirá una curva de calibración con concentraciones conocidas para poder determinar la cantidad de espermatozoides presentes en el eyaculado.
- c) Espermatozómetro o espermatocrito. Se basa en el principio del hematocrito. Al centrifugar el semen en una micropipeta se separa el paquete celular y el plasma seminal. La relación entre los dos permite calcular el número de espermatozoides en un volumen fijo.
- d) Contador fotoeléctrico de células. El semen diluido se pasa por unas celdillas fotoeléctricas y la cantidad exacta de células aparece en números digitales sobre un tablero.

13.4.1. Motilidad

Uno de los aspectos más importantes en la evaluación del semen es la motilidad. En el bovino se determina microscópicamente en dos formas:

- a) *Movimiento en masa.* Para evaluarlo se coloca una pequeña gota de semen sobre un portaobjetos y se observa con el objetivo seco

débil sobre una termoplatina a 40 °C. En un buen eyaculado aparecen ondas en forma de herradura que se mueven rápidamente. La intensidad del movimiento permite hacer una apreciación subjetiva de acuerdo con la siguiente escala: 0-nulo, 1-escaso, 2-regular, 3-buena, 4-muy buena.

- b) *Movimiento progresivo*. Se evalúa al poner una pequeña gota de semen en un portaobjetos con cubreobjetos y se observa con el objetivo seco fuerte. El movimiento individual de los espermatozoides debe ser lineal, progresivo y se calcula en porcentaje. Una buena muestra debe tener 70% de espermatozoides con este tipo de movimiento. El movimiento circular o local es anormal.

13.4.2. pH

Se mide con el papel tornasol o con el potenciómetro. El pH normal de semen de bovino es de 6.9 (6.4-7.8).

13.4.3. Morfología

Para observar la cantidad de espermatozoides vivos y las anomalías, generalmente se mezcla el semen con colorantes y se realiza un frotis. En otras técnicas, primero se hace un frotis del semen y luego se tiñe la laminilla. Existen gran cantidad de tinciones, como: eosina-nigrosina, rojo de Bengala-Azul Victoria, Wells, Williams, Giemsa, tinta china, Fuchina Fénica, violeta de metilo, anilina y coloración de Karras. También es posible usar preparaciones líquidas (solución de Hancock) mezcladas con el semen y observarlas al microscopio de contraste de fase. Por lo común, se cuentan 300 espermatozoides en varios campos y se anotan los alterados y el tipo de alteración.

13.4.4. Evaluación de semen congelado

La baja fertilidad del semen congelado es un importante factor de pérdida económica durante un proceso de inseminación artificial. Para evitar estas pérdidas, la fertilidad del semen debe ser evaluada después de su procesamiento y antes de cada estación reproductiva. La reducción de la fertilidad del semen ocurre frecuentemente por errores en el proceso de congelación y manipulación incorrecta del termo y del semen, principalmente por exposiciones prolongadas a elevadas temperaturas. Por ello, se han desarrollado varios métodos para predecir la fertilidad del semen almacenado en nitrógeno líquido y evitar una baja eficiencia en el proceso de inseminación artificial.

El método más simple de evaluación del semen congelado es la determinación subjetiva de la motilidad espermática después del descon-

gelamiento. Este método es un buen indicador de la viabilidad espermática, mas no de la fertilidad. La fecundación es un proceso complejo que implica integridad estructural y capacidad bioquímica fecundante de los espermatozoides. El semen puede tener una motilidad espermática por arriba de 50% después del descongelamiento, pero si los espermatozoides presentan lesiones en la membrana plasmática, en el acrosoma, en el núcleo o en otro compartimiento celular, como consecuencia de problemas en el proceso de congelación o en la manipulación del semen, su capacidad fecundante puede verse considerablemente reducida. Evidentemente la demostración de elevados índices de fertilidad observados después de la inseminación de centenas o millares de hembras, es la comprobación del poder fecundante del semen. Sin embargo, este método es poco viable desde el punto de vista económico. Por ello, se han desarrollado pruebas *in vitro* más eficientes para la evaluación del semen congelado.

Los parámetros iniciales de evaluación del semen congelado son: volumen de la dosis (el mínimo aceptable es de 0.25 ml), motilidad espermática progresiva posdescongelamiento (mínimo de 30%), vigor espermático (mínimo de 3 en una escala de 1 a 5) y morfología espermática (máximo de 20 a 30% de defectos totales, dependiendo de si la concentración de espermatozoides con motilidad progresiva está entre 6×10^6 a 10×10^6 o es mayor de 10×10^6).

Las pruebas de termorresistencia están entre los más antiguos exámenes para la evaluación del semen congelado. El principio de estas pruebas se basa en el hecho de que si el semen presenta un índice mínimo de viabilidad espermática después del estrés térmico, los espermatozoides estarían íntegros y consecuentemente con capacidad fecundante. Con base en este principio se han diseñado tres pruebas. La prueba de termorresistencia (T.T.), que consiste en someter una muestra de semen a 38 °C durante cinco horas y evaluar el porcentaje de espermatozoides con motilidad progresiva; la prueba de termorresistencia lenta (T.T.R.), la cual consiste en someter una muestra de semen a 46 °C durante 30 minutos y evaluar el porcentaje de espermatozoides con motilidad progresiva; y la prueba de resistencia al estrés térmico (T.T.S.), la cual consiste en someter una muestra de semen a 38 °C durante cinco horas y después seguir manteniéndola a 5 °C durante 24 horas y evaluar el porcentaje de espermatozoides con motilidad progresiva.

El semen debe presentar un mínimo de 15% de espermatozoides con motilidad progresiva para ser considerado de buena capacidad fecundante y poder aprobarlo para su uso en la inseminación artificial. Estas pruebas no son ideales, pero son simples y presentan una correlación con la fertilidad posinseminación superior a la evaluación subjetiva de la motilidad espermática posterior al descongelamiento.

Los procesos de evaluación objetiva del semen con la ayuda de equipos ligados a programas de cómputo, están sustituyendo las evaluaciones

subjetivas. El equipo más difundido es el CASA (Computer-Assisted Sperm Analyzers). Este equipo es capaz de evaluar con precisión la concentración espermática, el número total de espermatozoides, la motilidad y el vigor espermático. Estos parámetros objetivos permiten una evaluación más precisa y una mayor correlación de los resultados *in vitro* con la fertilidad de campo. Recientemente se han desarrollado varias pruebas para evaluar la viabilidad espermática, buscando una mayor correlación con la fertilidad después de la inseminación artificial. La membrana plasmática tiene que ser evaluada en cuanto a su integridad morfológica y funcional. La evaluación morfológica tiene que ser realizada por contraste de interferencia diferencial (Nomarski), tinciones vitales y microscopía electrónica. Sin embargo, la correlación de las pruebas de integridad morfológica de la membrana plasmática con la fertilidad, solamente es significativa cuando las lesiones son muy severas. Por otro lado, las sondas fluorescentes para DNA, enzimas intracitoplasmáticas, lecitinas o potencial de membrana, son las técnicas a elección para evaluar la funcionalidad espermática. También se han utilizado técnicas como la citometría de flujo, microscopía fluorescente y fluorometría.

Es importante resaltar que es fácil determinar el potencial fecundante del semen que no presenta espermatozoides viables, lo difícil es juzgar el semen que presenta un índice relativamente elevado de motilidad progresiva (>30%) y prever su fertilidad en un proceso adecuado de inseminación artificial. En la mayoría de las veces, un examen único no es suficiente para esto, por lo que son necesarias varias pruebas para aumentar la correlación positiva entre resultados *in vitro* y fertilidad final *in vivo*. Desafortunadamente, las pruebas más precisas son tardadas y se realizan con equipos costosos, por lo que su uso de manera rutinaria en centros de inseminación artificial no es muy rentable.

La prueba hiposmótica consiste en poner en contacto a una muestra de semen con una solución ligeramente hipotónica. El porcentaje de espermatozoides que después de cierto tiempo hayan sufrido curvatura de la cola, representan aquellos que eran normales y cuya membrana citoplasmática fue capaz de reaccionar ante el estrés osmótico.

13.5. PROCESAMIENTO DEL SEMEN

13.5.1. Congelamiento

13.5.1.1. Dilución

Los espermatozoides viven fuera del organismo solamente durante un tiempo limitado. Precisamente por esto, cuando el semen colectado se va a utilizar

para inseminar deberá usarse lo más rápidamente posible o proceder a su dilución. Los diluyentes son sustancias que se agregan al eyaculado para conservar su metabolismo, viabilidad y fertilidad. Con la dilución se persigue:

- Añadir al semen sustancias nutritivas, protectoras y amortiguadoras.
- Aumentar el volumen para poder inseminar a un gran número de hembras.
- Reducir el metabolismo de los espermatozoides al mínimo, al descender la temperatura del semen diluido.
- Restringir el crecimiento de microorganismos mediante la adición de antibióticos, sulfas, antimicóticos y otras sustancias.

Existen gran cantidad de diluyentes, desde los químicos, constituidos por soluciones salinas isotónicas, hasta aquellos que contienen sustancias orgánicas como la yema de huevo, leche o agua de coco. Cuando se usa leche, ésta deberá haber sido calentada previamente en baño María a 96 °C durante 10 minutos. La leche ultrapasteurizada ya no necesita inactivarse por calor, es estéril, barata y se puede mantener sin refrigeración por cierto tiempo.

Diluyentes para conservar el semen a temperatura ambiental. En este grupo se tiene el Coconut Milk Extender, el Cornell University Extender y el Illinois Variable Temperature. Estos diluyentes conservan el semen a una temperatura fija dentro del rango de 15 a 25 °C durante varios días. Los diluyentes para conservar el semen en refrigeración (4 °C) pueden ser leche, el diluyente a base de citrato de sodio-yema de huevo, Tris-yema de huevo y preparaciones que conservan el semen hasta por tres días.

Diluyentes para congelamiento. Básicamente son los mismos que se mencionaron: citrato de sodio-yema de huevo, Tris-yema de huevo, leche y fórmulas comerciales a las que se agrega glicerol.

Congelamiento del semen bovino. En la especie bovina el uso de inseminación artificial con semen congelado se realiza en gran escala en varios países de Europa, en Estados Unidos de Norteamérica y en Japón. Su utilización es menor en África, Sudamérica y Asia.

Existen diferentes presentaciones del semen congelado:

	VOLUMEN
Ampolleta o pipeta	0.6-1.0 ml
Pajilla (popote)	0.25 y 0.5 ml
Pellet	0.1 ml

El diluyente que se utiliza en cada técnica es variable, lo mismo que el proceso de congelamiento. Una buena presentación de semen congelado debe tener

las siguientes características: ser de fácil elaboración y manejo, requerir un espacio mínimo, permitir una buena identificación que aisle el semen del medio externo, y que sea barato. La ampolleta y la pipeta llenan la mayoría de estas características; sin embargo, necesitan de mucho espacio. Con el pellet se obtiene una buena recuperación de espermatozoides y buena fertilidad al descongelar, pero no es fácil identificarlo y es susceptible de contaminar. El método que más se utiliza es el de la pajilla.

Para el congelamiento del semen se utiliza el glicerol como crioprotector, a una concentración final de 7 a 10% en el semen diluido. El glicerol se agrega en la segunda fracción del diluyente. Antes de congelar, el semen diluido ya glicerinado se mantiene a 5 °C durante varias horas (periodo de equilibrio). El congelamiento se efectúa al colocar el semen en el hielo seco a -79 °C (método de pellet), o en congeladoras programables automatizadas.

La reducción de la temperatura debe seguir una determinada curva. Ésta será tan lenta como para no deshidratar el eyaculado y evitar la letal cristalización intracelular, y lo suficientemente rápida para evitar daños osmóticos al exponerlo a un medio hipertónico durante el congelamiento. El descongelamiento óptimo del semen deberá ocurrir en forma inversa para evitar daños. El paso de fase cristalizada a líquida, entre -10 y -70 °C, debe transcurrir rápidamente. Para la elaboración de pellets, el semen se mezcla con un diluyente formado con base en una solución de lactosa al 11% o de rafinosa al 18%, yema de huevo, glicerina y antibióticos, y el semen diluido después de haber permanecido 4 horas a una temperatura de 4 °C se congela depositando 0.1 ml en perforaciones, previamente hechas, en la superficie de una placa de hielo seco (-79 °C). Ahí permanecen durante 10 a 15 minutos para ser trasladados al nitrógeno líquido en los termos de almacenamiento.

13.5.1.2. Protocolo de congelamiento de semen bovino a nivel de campo

La preparación del diluyente: primero debe prepararse una solución madre del diluyente tris-yema de huevo, de acuerdo con la fórmula descrita en el cuadro 13.1. Esta solución madre puede ser almacenada en refrigeración por un periodo de hasta 30 días.

1. En el día de la colección de semen, las soluciones I y II deberán ser preparadas de acuerdo con los cuadros 13.2 y 13.3.
2. Obtener el semen del toro seleccionado a través de la vagina artificial o electroeyaculación.

Cuadro 13.1. Solución madre del diluyente tris-yema de huevo

SUSTANCIA	CANTIDAD	UNIDAD
Tris	36.05	g
Ácido cítrico	20.24	g
Fructosa	14.88	g
Penicilina G potásica	1,500,000	UI
Estreptomicina	1.5	g
Agua tridestilada c.b.p.	1,000	ml

Cuadro 13.2. Solución I para congelamiento del semen bovino

COMPONENTE QUÍMICO	CANTIDAD (ml)
Solución madre (cuadro 13.1)	67.2
Agua tridestilada	12.8
Yema de huevo	20.0

Cuadro 13.3. Solución II para congelamiento del semen de bovino

COMPONENTE QUÍMICO	CANTIDAD (ml)
Solución madre (cuadro 13.1)	67.2
Glicerol	12.8
Yema de huevo	20.0

3. Verificar el volumen, aspecto y motilidad conforme a lo descrito. Sólo se deberá utilizar semen con un mínimo de 70% de motilidad y vigor 3.
4. Colocar inmediatamente el semen a 35 °C y hacer una dilución previa de 1:1 (una parte de semen y una de diluyente solución I – cuadro 13.2).
5. Determinar la concentración del semen en la cámara de Neubauer.
6. Calcular el número total de espermatozoides en el eyaculado. Ejemplo: si el volumen del eyaculado es de 8 ml, con motilidad un 70% y vigor de 3 (en escala de 0 a 5), su concentración es: 1,100,000 espermatozoides/mm³.
 - La dilución se puede calcular de la siguiente manera: 1.1×10^6 espermatozoides/mm³ = 1.1×10^9 espermatozoides/ml.
 - $1.1 \times 10^9 \times 8 \text{ ml} = 8.8 \times 10^9$ espermatozoides totales en el eyaculado.

- Dosis de semen con 3×10^7 espermatozoides totales como dosis total de semen congelado (por pajilla de 0.5 ml).
 - $8.8 \times 10^9 / 3 \times 10^7 = 293$ dosis de semen.
 - $293 \times 0.5 \text{ ml} = 147 \text{ ml}$ totales necesarios para hacer las 293 dosis.
 - $147/2 = 73.5 \text{ ml}$ de la solución II (cuadro 13.3).
 - $73.5 - 8$ (volumen del eyaculado) = 65.5 ml de la solución I (cuadro 13.2).
 - Se debe tomar en cuenta que como el eyaculado ya fue diluido 1:1, deben agregarse sólo 57.5 ml de la solución I y, posteriormente, adicionar 73.5 ml de la solución II, totalizando 147 ml (8.0 ml eyaculado + 8.0 ml de la primera dilución con la solución I + 57.5 ml de la solución I + 73.5 ml de la solución II). La adición de la solución II debe ser lenta.
7. Después de la dilución se deben llenar las pajillas con el semen y sellarlas en el extremo, utilizando una máquina para tal fin.
 8. Las pajillas cerradas se colocan en el refrigerador a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, donde deben permanecer por 3 a 5 horas, completando el denominado tiempo de equilibrio.
 9. Al término de este periodo, las pajillas se colocan en los vapores del nitrógeno líquido, 5 cm arriba del nivel del nitrógeno, aproximadamente a $-100 \text{ }^\circ\text{C}$, permaneciendo por 20 minutos a esta temperatura.
 10. Finalmente se almacenan en nitrógeno líquido a $-196 \text{ }^\circ\text{C}$.

13.5.1.3. Inseminación artificial de la vaca

En la vaca, la inseminación se realiza con la técnica recto-vaginal, que consiste en introducir el catéter a través de la vulva hasta la parte más craneal de la vagina, en la cercanía de la os externa del cérvix. Por vía rectal se fija al cérvix con la otra mano y se mueve manteniendo el catéter fijo, hasta que se logra pasar el canal cervical hacia el sitio en donde éste se abre al cuerpo uterino, donde se debe depositar el semen. Para alcanzar porcentajes altos de concepción, es necesario utilizar semen de buena calidad, efectuar la técnica correcta de descongelamiento y aplicación de la dosis, cerciorarse de la salud reproductiva de la hembra e inseminar en el momento adecuado.

13.5.1.4. Inseminación artificial de la yegua

La colección del semen del garañón se efectúa por medio de la vagina artificial, para lo cual se necesita un señuelo, que puede ser una yegua en celo o un maniquí. El volumen del eyaculado es de 30 a 100 ml, con una concentración espermática de 150 a 300 millones de espermatozoides por mililitro. La yegua se puede inseminar con semen recién colectado, diluido o congelado. Para la dilución del semen se usa leche descremada a la que se le añaden antibióticos, y la dosis de inseminación contiene de 100 a 500 millones de espermatozoides en un volumen que varía entre 20 y 100 ml. El semen fresco diluido y almacenado en termos especiales que lo mantienen a 5 °C, se puede utilizar con éxito durante varios días sin que disminuya su capacidad fertilizante.

El semen de garañón se ha congelado exitosamente en ampollitas, en pellets y en tubos de plástico (macrotubo), y se requiere de 80 a 100 millones de espermatozoides con movimiento progresivo para obtener niveles de fertilidad aceptables. La aplicación del semen se efectúa introduciendo un catéter a través del cérvix relajado, directamente en el útero, lo que se logra con la ayuda de un espéculo vaginal y una fuente de luz.

La inseminación debe realizarse en un momento cercano a la ovulación, lo que representa una dificultad, ya que el celo de la yegua es largo y ese momento es difícil de predecir. Para solucionar el problema se ha intentado la inseminación doble con un intervalo de 24 horas hacia el final del estro, o bien el control folicular, que consiste en seguir los cambios foliculares por palpación rectal a lo largo del celo. También se obtienen buenos resultados si la inseminación se efectúa cuando el folículo ha rebasado los 3.5 cm de diámetro y la ovulación se induce mediante la aplicación de gonadotropina coriónica (HCG).

13.5.1.5. Inseminación artificial en suinos

Para la colección del semen se permite al verraco montar sobre un maniquí o sobre una cerda en celo. Una vez que el macho presenta erección, se toma con la mano la porción espiral del pene y se dirige lateralmente hacia el recipiente colector. También se puede coleccionar el semen mediante la técnica de la electroeyaculación; sin embargo, es indispensable hacerlo bajo anestesia general del cerdo. La eyaculación dura aproximadamente 7 minutos, y el eyaculado tiene un volumen que varía de 150 a 300 ml (170 ml promedio) y una concentración espermática de 200 a 300 millones de espermatozoides por mililitro. El semen contiene una porción gelosa, producto de la secreción de las glándulas bulbouretrales, la que conviene separar del resto del eyaculado para evitar aglutinación espermática o dificultades durante el manejo al momento de la inseminación. Para la dilución del semen se usa leche

o leche con huevo. Para la preservación del semen a corto plazo se puede diluir con los diluyentes Kiew, Beltsville o el I.V.T. (Illinois Variable Temperature), manteniéndolo a una temperatura entre 15 y 25 °C. Su capacidad fertilizante se conserva durante aproximadamente 3 días. El semen del verraco se ha congelado en forma de pellets o en tubos de plástico (macrotubo) con buenos resultados; la dosis de inseminación del semen diluido y congelado es de 2000 a 6000 millones de espermatozoides, respectivamente, y el volumen al inseminar varía entre 50 y 100 mililitros.

Para la inseminación se emplea un catéter que al quedar fijo en el cérvix permite el depósito del semen directamente en el útero. Se recomienda inseminar a la cerda en el segundo día del celo para alcanzar porcentajes de concepción óptimos. La doble inseminación con intervalo de 12 o 24 horas aumenta los porcentajes de concepción y el tamaño de la lechigada.

13.5.1.6. Inseminación artificial en ovinos y caprinos

En el carnero y en el macho cabrío la colección de semen se puede efectuar tanto con vagina artificial como con el electroeyaculador. A diferencia del toro, la electroeyaculación se hace con el animal en decúbito lateral e inmobilizado. El eyaculado obtenido por medio de la vagina artificial tiene un volumen de 0.5 a 1.5 ml y una concentración de 3000 a 5000 millones de espermatozoides por mililitro.

El semen se puede diluir con leche ultrapasteurizada a la que se añaden antibióticos; la dosis de inseminación es de 200 millones de espermatozoides contenidos en 0.2 ml de semen diluido. La aplicación intracervical profunda, por medio de un catéter, permite obtener alta fertilidad (60 a 70%). El congelamiento del semen no ha tenido la misma aplicación que en el bovino, ya que la fertilidad obtenida al inseminar cervicalmente con semen congelado ha arrojado resultados muy variables, generalmente bajos (menores a 30%). Los espermatozoides del carnero son muy susceptibles a sufrir daños acrosomales durante el proceso de congelamiento. Además, el transporte espermático se ve alterado, por lo que pocos espermatozoides alcanzan el sitio de la fertilización. Para salvar esta dificultad, cuando se utiliza semen congelado, se ha desarrollado la inseminación intrauterina mediante la laparoscopia, lo que permite la visualización de los cuernos uterinos y el depósito del semen en la luz uterina con buenos resultados de fertilidad, así como una disminución considerable del número de espermatozoides inseminados.

13.5.1.7. Inseminación artificial en el perro

En el perro, la colección de semen es manual y consiste en la fijación de la parte posterior del bulbo eréctil del pene. Para estimular al perro se utiliza

preferentemente una perra en calor y en algunos machos la colección se puede efectuar sin la ayuda de un maniquí o un señuelo. También se ha colectado semen por electroeyaculador, por vagina artificial y por medio de un vibrador, aunque estos métodos casi no se utilizan. El eyaculado consta de varias fases, la primera es una secreción preseminal y carece de espermatozoides; la segunda es la fracción rica en espermatozoides; y la tercera contiene pocos espermatozoides, básicamente está formada por secreciones prostáticas. La eyaculación es de duración variable, entre 5 y 30 minutos. El eyaculado tiene un volumen de 3 a 30 ml y una concentración espermática de 50 a 200 millones de espermatozoides por mililitro. Para la conservación del semen a corto plazo se ha diluido con leche o con una solución de citrato de sodio a la que se añade yema de huevo. La dosis de inseminación es de 100 millones de espermatozoides vivos, aunque generalmente se aplica el volumen total del semen.

El semen se ha congelado tanto en forma de pellets como en pajillas. La inseminación de la perra debe realizarse en un momento cercano a la ovulación, para lo cual habrá que determinar el instante preciso ya sea mediante la aceptación del macho o por la citología vaginal exfoliativa.

La aplicación del semen deberá hacerse en las proximidades o en el interior del canal cervical. Generalmente el semen se coloca al llevar un catéter hasta el fondo de la vagina mediante el uso de un espéculo largo o al introducir el dedo índice en la vagina para dirigir el catéter. Después de aplicar el semen, la perra debe mantenerse durante 15 minutos con la parte posterior levantada, para lo cual se sujeta de los miembros posteriores.

13.6. LITERATURA RECOMENDADA

- Arthur, G.H. 1975. *Veterinary reproduction and obstetrics*. 4a. ed., Bailliere Tindall, Londres.
- Bleil, J.D., y Wassarman, P.M. 1986. *Autoradiographic visualization of the mouse egg's sperm receptor bound to sperm*. J Cell Biol 102:1363.
- Evans, G., Maxwell W.M.C. 1987. *Salamon's Artificial Insemination of Sheep and Goats*. Butterworks, Sydney.
- Hawks, H.W., y Bellows, R.A. 1980. "Beef and dairy cattle". En: *Reproduction in farm animals*. Hafez, E.S.E. (ed.) 4a. ed., Lea & Febiger, Philadelphia.
- Rodríguez-Martínez, H., Larsson, B., Pertoft, H. 1997. *Evaluation of sperm damage and techniques for sperm clean-up*. Reprod Fert Develop 9:297.
- Sorensen, A.M. 1979. *Animal Reproduction Principles and Practices*. Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1979.

19. INFERTILIDAD EN LA HEMBRA. SÍNDROMES DE ANESTRO Y FALLA EN LA CONCEPCIÓN

JOEL HERNÁNDEZ CERÓN / JAVIER VALENCIA

- 19.1. INTRODUCCIÓN
- 19.2. ANESTRO
- 19.3. FALLA EN LA CONCEPCIÓN: FALLA EN LA FERTILIZACIÓN Y MUERTE EMBRIONARIA
- 19.4. LITERATURA RECOMENDADA

19.1. INTRODUCCIÓN

El anestro y la falla en la concepción son las dos causas más frecuentes de infertilidad en las hembras domésticas. Ambas condiciones alargan el intervalo entre partos, ocasionando pérdidas económicas en las explotaciones pecuarias.

Las causas que originan tanto el anestro como la falla en la concepción son diversas, y para realizar el diagnóstico y la corrección del problema habrá que considerar múltiples factores. La mayoría de estas causas tienen su origen en el ambiente y manejo.

19.2. ANESTRO

19.2.1. Anestro estacional

Algunas hembras domésticas muestran variaciones estacionales en su actividad reproductiva, como respuesta a diversos factores genéticos y del ambiente. Por lo mismo, habrá periodos de duración variable durante los cuales se presente el anestro estacional.

La yegua se encuentra en anestro cuando la cantidad de luz (fotoperiodo) disminuye, lo cual coincide con parte del invierno y el inicio de la primavera; al contrario, en la oveja y la cabra el anestro ocurre cuando el fotoperiodo se alarga. La vaca y la cerda son poliéstricas continuas y pueden tener ciclos estrales a lo largo del año. En la vaca no se observa un efecto del fotoperiodo en la ciclicidad; sin embargo, bajo determinadas condiciones

ambientales, el anestro puede llegar a concentrarse en alguna época del año. Por ejemplo, en las zonas tropicales o subtropicales la ausencia de estro en las vacas es más frecuente durante las estaciones del año con menor disponibilidad de forraje. Asimismo, en ganado lechero, en sistemas intensivos de producción, la frecuencia de vacas en anestro aumenta durante la estación calurosa debido a un efecto directo del estrés calórico en la expresión del estro.

La perra se ha clasificado como hembra monoéstrica estacional; sin embargo, investigaciones basadas en los registros de asociaciones canófilas indican que, por lo menos en las razas estudiadas, no ha sido posible demostrar una influencia de la estación en el inicio del proestro. El intervalo entre dos estros en la perra, es de aproximadamente 7 meses, con variaciones de 5 a 8 meses. Algunos autores consideran al anestro como el periodo que existe entre la completa reparación del endometrio y el siguiente proestro.

La gata es un animal poliéstrico estacional, que tiene 2 o 3 ciclos cada año entre los meses de enero a julio (en el hemisferio norte), y el anestro generalmente abarca el resto de los meses del año.

19.2.2. El anestro y la edad del individuo

19.2.2.1. Pubertad

El anestro que ocurre en la época cercana a la pubertad, es uno de los principales problemas reproductivos del ganado especializado en la producción de carne. En la oveja y la cabra la pubertad se llega a retrasar cuando las crías nacen al final de la época de pariciones (mayo o junio), de tal forma que no alcanzarán el peso necesario para llegar a la pubertad en la siguiente estación reproductiva. En la cerda existe un problema de anestro cuando la hembra alcanza la edad de 8 meses sin haber mostrado estro, o bien cuando interrumpe su actividad cíclica en ausencia de la preñez. En varias especies, el retraso en el inicio de la actividad cíclica ocasiona considerables pérdidas económicas.

En general, se conoce que la principal causa de un retraso en el inicio de la pubertad se asocia básicamente con una baja tasa de crecimiento, bajo peso y pobre condición corporal de la hembra como consecuencia del mal manejo de la alimentación.

19.2.2.2. Número de parto

Las hembras primerizas tienen periodos de anestro postparto más largos que las hembras con varios partos. En las vacas de primer parto se ha observado una mayor incidencia de anestro, al compararlas con vacas adultas. Esto obedece a que las vacas jóvenes son más afectadas por los cambios

metabólicos que impone la lactación. En la cerda primeriza el anestro postdestete (falta de estro a 30 días después del destete) es más frecuente que en la cerda múltipara (19.5 y 9.1%, respectivamente).

19.2.2.3. Edad avanzada

La edad avanzada generalmente no tiene un efecto marcado en cuanto a la presentación del anestro en las vacas, ovejas, cabras y otras hembras domésticas, a menos que existan otros factores que modifiquen su salud o su condición corporal. En las hembras politocas, como la cerda y la perra, la edad avanzada no tiene un efecto marcado sobre la presentación del celo, pero sí en la fertilidad y el tamaño de la camada.

19.2.3. Anestro postparto

El anestro postparto se considera el periodo después del parto en el cual la hembra no tiene actividad cíclica. En casi todas las especies domésticas, el parto es seguido de un periodo de inactividad ovárica. La longitud de este periodo es variable y es afectado principalmente por el amamantamiento, el estado nutricional de la hembra, la producción de leche, la ganancia o pérdida de condición corporal antes y después del parto, la estación del año en que ocurrió el parto y condiciones patológicas. En general, la vaca productora de leche tiene su primera ovulación entre 25 a 40 días postparto, mientras que en la vaca productora de carne este periodo se alarga hasta 60 o 100 días postparto. En la oveja y la cabra, al ser especies estacionales, la primera ovulación después del parto se demora hasta el inicio de la estación reproductiva. En el hemisferio norte, al ocurrir los partos entre enero a mayo, la primera ovulación se presenta hasta la siguiente época reproductiva (agosto). La yegua contrasta con todas las especies domésticas, ya que presenta un estro postparto (10 días postparto), el cual es acompañado de ovulación, y es fértil (calor del potro). La cerda también puede presentar un estro en los primeros 5 días postparto, sin embargo este estro es anovulatorio.

19.2.4. Anestro lactacional

El anestro lactacional es provocado fundamentalmente por el amamantamiento de la(s) cría(s) y no por el proceso fisiológico de la lactación. Este tipo de anestro se presenta preferentemente en la cerda y en la vaca. En la cerda lactante el estro y la ovulación no ocurren, por lo menos durante los primeros 30 días postparto. Los ovarios de la cerda no tienen crecimiento folicular en la primera etapa del puerperio; posteriormente el efecto inhibitorio es menor y puede presentarse el crecimiento de algunos folículos sin que lleguen a la

madurez completa; sólo en ocasiones alguna cerda entra en celo durante la lactación. Este anestro termina al realizar el destete. Si a la cerda se le retiran los lechones, entra en celo unos cuantos días después, aunque este intervalo varía de acuerdo con la duración de la lactancia. Lo mismo sucede con la cerda que pierde los lechones.

En la cerda de la raza indígena Pelón Mexicano ha sido posible inducir la gestación durante la lactancia mediante la separación temporal de los lechones y la exposición a la presencia del verraco.

En la vaca, durante el periodo postparto se presenta desarrollo folicular similar al que se observa durante un ciclo estral normal, pero ningún folículo llega a desarrollarse lo suficiente para ovular, ya que se carece del estímulo apropiado de LH. Este desarrollo folicular comienza desde la primera semana postparto y obedece a la secreción de FSH que ocurre dentro de los primeros 3 a 5 días después del parto. En la vaca lechera el primer folículo dominante que se desarrolla durante las primeras 2 o 3 semanas ovula, siempre y cuando el factor nutricional no sea limitante, mientras que en la vaca que amamanta a su cría la primera ovulación ocurre después del día 60 postparto.

Durante la segunda semana postparto, el factor limitante para el inicio de la actividad ovárica es la incapacidad de la hipófisis para secretar LH; durante este periodo, la hipófisis sintetiza e incrementa sus reservas de LH; en este momento el efecto del amamantamiento no influye en el tiempo de inicio de la ciclicidad. Cuando la hipófisis ha recuperado la capacidad de respuesta, el amamantamiento inhibe la secreción de GnRH; este efecto se produce por la secreción hipotalámica de opioides (endorfinas y encefalinas), sustancias que inhiben la secreción de GnRH.

El estímulo que ocasiona el becerro cuando es amamantado no se limita a un estímulo físico, es decir, el que provoca con la succión del pezón. Este mecanismo es más complejo. Se ha demostrado que la interacción de estímulos auditivos, visuales, olfatorios, físicos y conductuales, son responsables del anestro. Así, cuando a una vaca se le cambia su cría por la de otra vaca, a pesar de que continúa amamantando, la vaca ovula en las siguientes semanas, es decir, se provoca una respuesta similar a la ocasionada por el destete. Estas observaciones indican la unión tan estrecha y las complejas interacciones que existen entre la vaca y su cría. El efecto del amamantamiento es menor conforme transcurre el tiempo después del parto debido a que el hipotálamo recupera gradualmente la capacidad de liberación de GnRH. La pérdida del vínculo entre la madre y la cría (destete) ocasiona un incremento en la liberación pulsátil de LH que conduce a la ovulación.

19.2.5. El anestro y el estado nutricional

La alimentación deficiente, principalmente en animales jóvenes en crecimiento, puede ocasionar inactividad ovárica y anestro. El efecto del nivel alimentario sobre la aparición de la pubertad se ha podido comprobar en diversas especies. En las vaquillas, el bajo nivel de energía ocasiona un retardo de la pubertad. La alimentación con una mayor proporción del total de nutrimentos digestibles, de alrededor de 150% de lo recomendado, provoca la presentación de la pubertad a menor edad.

En las vacas en sistemas de producción de carne o doble propósito, resulta difícil separar los factores que afectan el periodo acíclico, ya que el efecto del amamantamiento está asociado con la nutrición y con la condición corporal. Así, la mala nutrición y la pobre condición corporal exacerban el efecto del amamantamiento. El inicio de la actividad ovárica postparto está correlacionado positivamente con la pérdida de condición corporal, lo cual se refleja en un tardío inicio de la actividad ovárica. El anestro postparto se puede acortar mediante la suplementación energética aun en vacas que estén amamantando. El consumo de energía tiene mayor impacto que el consumo de proteína; un bajo consumo de energía antes y después del parto alarga el periodo de anestro. Se sabe que una buena condición corporal de la vaca antes del parto disminuye el periodo de anestro postparto.

La ganancia de peso y el aumento en las reservas de grasa proporcionan mensajes al hipotálamo para que comience la secreción de GnRH, aun en animales que están amamantando. Hormonas como la insulina, leptina (hormona producida por las células del tejido adiposo) y el factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF-I), son mensajeros de los cambios en condición corporal. Un incremento en las concentraciones sanguíneas de estas hormonas se asocia con el inicio de la ciclicidad en animales que estaban en anestro.

Por otra parte, las vacas lecheras después del parto presentan un balance energético negativo, lo cual significa que la suma de la energía necesaria para su propio mantenimiento y la que requieren para producir, es mayor que la consumida y, como consecuencia, se ven obligadas a utilizar sus reservas corporales. Estas vacas llegan a su punto más bajo de balance energético también llamado nadir entre los días 10 y 20, continúan en balance negativo aproximadamente hasta el día 70 u 80 y, en algunos casos, sobre todo las vacas de primer parto, hasta el día 100 postparto. El balance energético negativo afecta la reproducción de diversas formas, como son el retraso del desarrollo folicular, la formación de quistes ováricos, las alteraciones de los ovocitos y el anestro.

La ausencia del celo de la cerda después del destete se ha asociado a la pérdida excesiva de peso durante la lactación. La condición es más crítica

en la cerda primípara, ya que ésta no es capaz de consumir la suficiente cantidad de alimento para mantener su peso estable, por lo que el anestro es más frecuente que en cerdas multíparas. En la oveja y en la cabra mal alimentadas, los ciclos estrales pueden llegar a suprimirse y sólo vuelven a ciclar cuando se mejora el plano nutricional; sin embargo, el inicio de la ciclicidad es acompañado de ovulaciones sin estro y con tasa de ovulación baja.

En general se puede afirmar que la desnutrición, las enfermedades crónicas o debilitantes y las parasitosis causan anestro y baja fertilidad dependiendo del grado en el que se encuentre afectando el peso corporal y el estado general del animal.

19.2.6. Falso anestro (anestro funcional o fisiológico)

Existen varias condiciones que pueden hacer pensar que la hembra se encuentra en anestro, como son:

- a) Gestación. Algunos animales que supuestamente se encuentran en anestro pueden estar gestantes; la progesterona del cuerpo lúteo de la preñez suprime la presentación del celo. En ocasiones se omite el registro de la fecha de inseminación o monta de la hembra, o también pueden ocurrir servicios fuera de control. El diagnóstico en este caso es importante, ya que la aplicación de algunos medicamentos usados en el tratamiento del anestro puede terminar con la gestación.
- b) Ovulación silente (estro o calor silencioso). La ovulación sin signos externos de estro ocurre en casi todas las especies. La primera ovulación de la estación reproductiva, de la pubertad y postparto en la vaca, oveja y cabra, generalmente ocurre en ausencia de estro. Es necesario tomar en cuenta que las hembras presentan grandes variaciones individuales en la duración e intensidad con que manifiestan los signos de celo. En vacas lecheras grandes productoras bajo condiciones de estrés calórico o vacas tratadas con hormona de crecimiento (somatotropina bovina), disminuye la manifestación del estro, lo que aumenta la incidencia de ovulaciones silentes.
- c) Falla en la detección del celo. En la vaca se ha comprobado que la falla en la detección del celo es la causa principal del supuesto anestro. La baja eficiencia en la detección de estros es el problema reproductivo más importante en las explotaciones con ganado bovino, y es responsable de que se insemine un bajo número de vacas. La eficiencia en la detección de estros se define como el

porcentaje de las vacas en estro de un número de vacas elegibles para que presenten estro en un periodo de 21 días (la duración promedio de un ciclo estral). En ganado lechero, algunos estudios han demostrado que sólo 40% de los celos son detectados por el personal de la explotación, y que la mayoría de los animales (90%) tienen actividad cíclica normal, lo cual puede ser comprobado en la vaca mediante los cambios ováricos y uterinos o por la determinación de las concentraciones de progesterona. En estas vacas, durante el examen rectal, frecuentemente se encuentran cuerpos lúteos en diferentes estadios de desarrollo, ya que esta estructura está presente en 60 a 65% del ciclo estral. La baja eficiencia en la detección de estros obedece fundamentalmente a errores humanos tales como el poco tiempo dedicado a esta actividad, periodos inadecuados de observación, desconocimiento de los signos de estro y, además, por no disponer de una persona dedicada exclusivamente a esta actividad.

En la yegua, la cerda, la oveja y la cabra, la presencia del macho es necesaria para la completa identificación de los signos del celo; en este caso resulta muy importante el conocimiento de esos signos cuando se realiza la detección rutinaria de calores.

19.2.7. Anestro en relación con el momento del servicio

El anestro en el ganado bovino se ha clasificado también como anestro antes y después del servicio, aunque la clasificación puede aplicarse a varias especies.

- a) Anestro antes del servicio. Incluye vacas y vaquillas que no han mostrado celo en el periodo en el que debieran ser cubiertas. En algunos estudios se ha observado que el anestro antes del servicio puede afectar hasta 40% de las vacas elegibles para presentar estro y ser inseminadas.
- b) Anestro después del servicio. En este grupo se incluyen las vacas y vaquillas que vuelven a entrar en celo 36 días o más después del servicio, o que no se encuentran preñadas al examen de gestación (45 días pos inseminación). Este tipo de anestro es también frecuente (10 a 20% de las vacas que llegan a diagnóstico de gestación). El diagnóstico precoz de gestación es una gran ayuda para determinar a tiempo los animales que no están gestantes y que el propietario supone que sí lo están, por no haber sido

observadas en celo nuevamente. El diagnóstico temprano de gestación mediante el uso de ultrasonografía transrectal es una opción viable y rentable en algunos hatos bovinos (hatos lecheros en condiciones intensivas).

El anestro después del servicio en la yegua puede presentarse cuando ha ocurrido la muerte embrionaria. Si la pérdida de la gestación tuvo lugar antes de la formación de las copas endometriales, se puede establecer un cuerpo lúteo persistente que causa el anestro. Cuando la gestación se interrumpe después de este periodo, el cuerpo lúteo involuciona, los ovarios se hacen inactivos y la hembra entra también en anestro. En esta especie el anestro también puede deberse a la prolongación del diestro. En la cerda, una vez que la preñez se ha establecido, la pérdida de los embriones después del día 14 ocasiona un anestro de duración similar al de la gestación, con mantenimiento de la función lútea.

La oveja y la cabra pueden llegar a presentar persistencia espontánea del cuerpo lúteo, la cual ocasiona la prolongación del diestro. Esta condición provoca que estas hembras se diagnostiquen erróneamente como gestantes por la ausencia del retorno al estro. Una vez que ocurra la regresión espontánea del cuerpo lúteo, estas hembras presentarán estro.

La pseudogestación de la cabra y la perra se trata en el capítulo de alteraciones hormonales de la hembra.

19.2.8. Alteraciones del aparato genital que causan anestro (anestro orgánico)

En la vaca, se ha estimado que las alteraciones del aparato genital que afectan la actividad ovárica, representan sólo 10% del total de las causas de anestro. Entre éstas se encuentran la atrofia y la hipoplasia bilateral ovárica, el Freemartin, la piómetra, la momificación y la maceración fetal, el quiste luteinizado, como también los quistes foliculares y la aplasia segmentaria (enfermedad de las becerras blancas); aunque estas dos últimas entidades, no en todos los casos provocan el anestro.

No existe tratamiento para el freemartinismo, la aplasia segmentaria y la hipoplasia ovárica, por lo que el diagnóstico debe realizarse lo antes posible, con el fin de eliminar a los animales improductivos. Los quistes foliculares y luteinizados y la piómetra pueden tratarse con bastante eficacia, con el restablecimiento posterior de la actividad cíclica.

En la momificación, la fertilidad de la vaca es normal, después de la expulsión de la momia, no así en el caso de maceración, en la que el endometrio ha sido dañado seriamente.

La cerda que presenta quistes foliculares o luteinizados en los ovarios y que no tiene cuerpos lúteos, por lo general se encuentra en anestro. En todas las condiciones en las que el útero de la vaca está ocupado (piómetra, mucómetra, momificación y maceración fetal), hay un cuerpo lúteo en uno de los ovarios; antes se le denominaba "cuerpo lúteo persistente", pero el término es inadecuado, ya que esa estructura no origina la falta de ciclicidad, sino que el contenido uterino interfiere con el mecanismo luteolítico.

19.2.9. Factores varios

19.2.9.1. Instalaciones

Las instalaciones llegan a afectar la manifestación del estro, en particular los alojamientos con sistemas de candados en los cuales las vacas permanecen todo el tiempo sujetas; esta condición evita que ellas muestren conducta estral al no tener una compañera para interactuar. También las instalaciones con pisos de cemento resbaloso inhiben la conducta estral. Bajo condiciones de manejo extensivo, la observación de calores puede verse afectada si las extensiones de terreno son muy grandes.

19.2.9.2. Machos con baja libido

En las hembras en las que se requiere la presencia del macho para la detección del celo (yegua, cerda, oveja y cabra), es necesario conocer su efectividad para recelaras. Los machos de especies estacionales presentan una disminución en la libido durante la época de reposo sexual, lo que puede afectar su capacidad receladora.

Los machos con baja libido pueden ser la causa de que un buen número de hembras no sean encontradas en calor. También hay que tomar en cuenta el tiempo que el macho permanece en el grupo de hembras, el número de hembras y las condiciones del lugar donde se realice esta práctica.

Ésta es en realidad una falla de la detección de calores y no una causa de anestro.

19.2.9.3. Factores psíquicos

El nerviosismo en la yegua primeriza o con acentuado instinto maternal (con potro al pie) puede ser causa de ovulaciones sin estro, es decir, una falla en la manifestación del celo. También se han mencionado otros factores que afectan la expresión del celo, como el estrés agudo o crónico (miedo, dolor, hambre y las temperaturas extremas).

19.2.10. Manejo del anestro

19.2.10.1. Utilización de los registros

Para determinar con oportunidad a los animales que no han presentado estro, es indispensable la identificación exacta de las hembras, así como el mantenimiento y revisión constante de los registros reproductivos. En esta forma, la persona encargada del manejo reproductivo de la explotación sabrá reconocer a los animales que no han sido encontrados en celo en el periodo esperado.

19.2.10.2. Mejoramiento de la detección del estro

La mayor parte de las causas de anestro en la vaca se deben a fallas en la detección de los signos de estro o falso anestro. Una situación similar ocurre en otras especies domésticas, por lo que esta condición debe resolverse mejorando la práctica de detección del estro.

Es necesario que la persona encargada de la observación de calores conozca todos los signos que muestra el animal en celo, incluso en las hembras en que las manifestaciones no son muy evidentes (calores débiles). En las regiones tropicales se deberá prestar especial atención a la detección del celo debido a que tanto la duración como la intensidad de éste disminuyen. Además, el ganado *Bos indicus* muestra un comportamiento estral muy variable, lo que provoca que disminuya el número de vacas observadas en estro.

La duración de la detección de calores debe permitir una observación correcta de todos los animales de la explotación, y se recomienda que se realice por lo menos dos veces al día. Cuando se observan los animales poco tiempo, los celos de corta duración pueden pasar inadvertidos. En los hatos con ganado productor de leche, se destina poco tiempo a la detección de estros y generalmente se combina con otras actividades. Con frecuencia los trabajadores dedicados a esta actividad son responsables de otras prácticas de manejo, lo cual tiene grandes inconvenientes, ya que se pueden perder montas mientras se atiende otro trabajo. La actividad estral es más intensa durante el amanecer y atardecer, por lo que las mejores horas para observar calores son de las 5 a las 10 de la mañana y de las 5 de la tarde a las 8 de la noche. Debe considerarse, no obstante, que si se opta por la observación continua, se obtendrán mejores resultados, ya que también algunas vacas pueden presentar conducta estral fuera de los periodos de observación señalados.

El examen rectal de la vaca con falso anestro, permite predecir el siguiente estro con cierta precisión, basándose en el estado en que se

encuentren los ovarios y el útero. Este examen también debe realizarse en los animales que tengan 50 días de haber parido y que no hayan sido encontrados en celo, lo cual ayuda a reducir la incidencia del anestro preservicio. En las especies en las que es necesaria la presencia del macho para la detección del celo, se debe revisar con periodicidad la habilidad y la libido del macho.

19.2.10.3. Tratamiento del anestro

Se han utilizado diversas sustancias para el tratamiento del anestro, la mayoría de origen hormonal, con resultados en general aceptables. En la vaca y en la yegua no gestantes que presentan un cuerpo lúteo, la aplicación de prostaglandinas provoca la lisis de esta estructura y permite predecir el siguiente estro. La fertilidad del estro inducido en esta forma generalmente es similar a la que se obtiene en el estro natural. En la vaca bajo sistemas de producción de carne, también se han utilizado tratamientos con progestágenos combinados con gonadotropina sérica de yegua gestante (eCG), simultáneamente con destete temporal de 48 a 72 horas al final del tratamiento progestacional.

La inducción del estro durante el anestro estacional de la cabra y de la oveja, se ha logrado mediante la administración de progestágenos por vía vaginal u oral y eCG hacia el final del tratamiento progestacional. Los resultados indican la posibilidad de intensificar la frecuencia de las pariciones en las razas de anestro estacional profundo. La inducción del estro en la perra también se ha intentado utilizando varios tipos de hormonas gonadotrópicas con resultados poco consistentes.

19.2.10.4. Examen post mortem

La revisión *post mortem* del aparato genital de las hembras en anestro puede ser una ayuda para efectuar el diagnóstico, principalmente en aquellas especies en las que no es posible realizar el examen rectal.

19.2.10.5. Higiene

La vigilancia de las normas de higiene inmediatas al parto y durante el puerperio, disminuye la incidencia de las infecciones del aparato genital que pudieran causar anestro (por ejemplo, piómetra en la vaca).

19.2.10.6. Nutrición

En la vaca el anestro postparto se puede acortar mediante la suplementación energética. Se ha demostrado que una buena condición corporal de la vaca antes del parto disminuye el periodo acíclico. La agrupación de las hembras

gestantes de acuerdo con su condición corporal, permite un mejor control de la alimentación y consecuentemente una mejor condición corporal antes del parto. En todas las especies la correcta alimentación de las hembras prepúberes disminuye la frecuencia del anestro.

19.3. FALLA EN LA CONCEPCIÓN: FALLA EN LA FERTILIZACIÓN Y MUERTE EMBRIONARIA

La falla en la concepción es otro de los problemas más serios que afectan la fertilidad del hato. Se considera como una falla en la concepción a la falla en el establecimiento de la gestación. La incidencia de esta condición depende de algunos factores, como la especie, edad de los animales, raza y sistema de producción. La falla en la concepción es provocada básicamente por falla en la fertilización o muerte embrionaria. La muerte embrionaria temprana es la principal causa de falla en la concepción en prácticamente todas las especies domésticas. Así, se ha encontrado que la mortalidad embrionaria en la vaca, la oveja, la cabra y la cerda, hasta el momento de la adhesión, varía entre 25 y 60%.

Es frecuente observar que las hembras cubiertas vuelvan a entrar en celo en un periodo equivalente a un ciclo estral. Esto ocurre debido a que al morir los embriones en etapa temprana, no se lleva a cabo el reconocimiento materno de la gestación, lo que resulta en la liberación de la prostaglandina $F2\alpha$ y la regresión del cuerpo lúteo.

Los animales que fallan en la concepción no son necesariamente estériles, una buena parte de ellos llegan a quedar gestantes después de varios servicios y pocos llegan a presentar un problema verdadero de esterilidad. Con fines productivos, los animales que fallan para concebir después de varios intentos con frecuencia son desechados del hato por razones económicas.

Existen diversos factores que pueden ocasionar fallas en la fertilización o la muerte embrionaria, algunos de los cuales se mencionan a continuación.

19.3.1. Factores genéticos

Una proporción importante de la muerte embrionaria se debe a anomalías cromosómicas, las cuales pueden producirse espontáneamente durante la gametogénesis, fertilización o embriogénesis. Se ha estimado que las anomalías cromosómicas ocurren aproximadamente en 7.5% de los embriones.

El envejecimiento de los gametos conduce a alteraciones de tipo genético. Cuando un óvulo es fertilizado después de 8 a 10 horas de haber ocurrido su liberación del folículo, es común que se afecte el mecanismo del

bloqueo de la poliespermia; así, estos óvulos son fertilizados por varios espermatozoides, lo que provoca anomalías cromosómicas.

19.3.2. Alteraciones hormonales

Durante los primeros días del desarrollo, los embriones dependen totalmente de las secreciones uterinas y oviductales, las cuales son reguladas por la progesterona. Debido a esto, se ha señalado que las anomalías en la función del cuerpo lúteo son una causa importante de muerte embrionaria temprana. No obstante, no hay evidencias claras que indiquen que disfunciones del cuerpo lúteo afecten la supervivencia embrionaria. Algunos autores han observado que las vacas con fertilidad disminuida tienen menores concentraciones de progesterona durante los 15 días siguientes al servicio en comparación con las vacas que tienen alta fertilidad, mientras que otros estudios indican que la causa de la falla en la concepción no se asocia con la función lútea. No obstante, se debe considerar la posibilidad de que algunas vacas con mala condición corporal, perdiendo peso o bajo estrés calórico, tengan afectada la función del cuerpo lúteo y sea ésta una causa de la muerte embrionaria.

En todas las especies, la supervivencia embrionaria depende de una correcta sincronía entre el embrión y la madre. Para que la gestación ocurra, se debe establecer un diálogo estrecho entre el embrión en desarrollo y el ambiente materno. De esta forma, el embrión o los embriones deben establecer los mecanismos que evitan la regresión del cuerpo lúteo. Se ha propuesto que uno de los factores que contribuye a la falla en la concepción es la incapacidad del embrión para bloquear la regresión del cuerpo lúteo.

19.3.3. Momento del servicio

La vida fértil de los gametos de los animales domésticos es relativamente corta, sobre todo la del óvulo, por lo que su correcta fertilización depende en gran parte de que el apareamiento o la inseminación artificial ocurran en el momento adecuado. Bajo condiciones naturales, el macho cubre a la hembra cuando ésta muestra receptividad sexual, lo cual en la mayoría de los casos permite que un número suficiente de espermatozoides viables se encuentren en el sitio donde ocurre la fertilización del óvulo recién liberado, así se asegura la normalidad del proceso, en cuanto a tiempo se refiere. La sincronización de estos eventos es mayor en las especies de ovulación inducida que en las hembras domésticas de ovulación espontánea, y es mucho menor en la mujer, en la que no existe un periodo de receptividad sexual limitado.

Tanto el servicio precoz como el tardío pueden conducir al envejecimiento de alguno de los dos gametos, provocando fallas en la fertilización o en el desarrollo embrionario. En la vaca, desde hace más de 50 años se ha aplicado el esquema de inseminación AM-PM, lo que significa que las vacas que presentan el estro en la mañana son inseminadas en la tarde y las de la tarde se inseminan en la mañana siguiente. Este esquema proporciona buenos resultados en fertilidad, siempre y cuando se cuente con una eficiente y precisa detección de estros. En condiciones prácticas, en hatos con deficiencias en la detección de estros, no se sabe si la vaca observada en estro se encuentra en las primeras o en las últimas horas del periodo de aceptación. Así, si se programa la inseminación 12 h después, es probable que se realice demasiado tarde, cuando ya haya ocurrido la ovulación. Esta situación aumenta la probabilidad de encontrar óvulos viejos. Este error es el más frecuente en los hatos y contribuye en forma significativa con la baja fertilidad. Por otro lado, cuando se practica la IA temprana se puede afectar la viabilidad de los espermatozoides, ya que éstos deberán esperar demasiado tiempo antes de que ocurra la ovulación. Sin embargo, la vida media de éstos es de 24 a 36 h; además, por dosis de inseminación se depositan entre 10,000,000 y 15,000,000 de espermatozoides vivos; esta situación proporciona un buen margen de seguridad cuando se llega a inseminar muy temprano.

19.3.4. Técnica de inseminación

Con frecuencia la causa de la baja fertilidad radica en una mala técnica de inseminación artificial. Cada especie tiene su propio procedimiento y su particular manejo del semen (véase el capítulo *Inseminación artificial*). En bovinos, que es la especie en la cual la inseminación artificial está más difundida, se han logrado identificar algunos errores en el manejo de la técnica. Así, es frecuente observar que el nivel de nitrógeno del termo disminuye por debajo del mínimo indispensable, lo que provoca variaciones de la temperatura afectando la fertilidad del semen. Además, cuando los contenedores (bastones) se exponen al aire constantemente, la temperatura del semen fluctúa ocasionando que disminuya su fertilidad. Por otro lado, la técnica de descongelamiento en muchos casos no se sigue estrictamente. Con frecuencia los técnicos olvidan el protocolo y descongelan depositando las pajillas en la bolsa de su overol, en la axila o frotando las pajillas entre sus manos; estas técnicas de descongelamiento afectan la viabilidad de los espermatozoides. Las pajillas de 0.5 ml, que son las de uso generalizado, se descongelan a 35-37 °C durante 20 a 30 segundos. No se debe olvidar que una vez descongelado el semen, se debe exponer lo menos posible al sol

y a los cambios de temperatura. Cuando se cuente con inseminadores con poca experiencia, se debe poner especial cuidado en el sitio en que se deposita el semen. No olvidar que el semen se debe depositar siempre en el cuerpo del útero inmediatamente después de pasar el último anillo cervical. Los errores más frecuentes son el depósito del semen en el cérvix o en la vagina.

19.3.5. Alteraciones del aparato genital

Las infecciones o inflamaciones del aparato genital de la hembra (oforitis, salpingitis, metritis) pueden ser causa de muerte embrionaria y repetición de celos (ver capítulos correspondientes).

La corrección de las medidas de higiene al momento del parto y durante el puerperio, así como el seguimiento y diagnóstico correcto, permiten reducir este problema.

Las alteraciones congénitas localizadas en diferentes partes del aparato genital que provocan falla en la concepción, se discuten en el capítulo de alteraciones del aparato genital de la hembra.

19.3.6. Factores climáticos

En el bovino lechero el estrés causado por las altas temperaturas ambientales, aunado a una elevada humedad relativa, disminuye la fertilidad aumentando el número de servicios por concepción y, por lo mismo, se alarga el intervalo entre partos. En vacas sometidas a estrés calórico, la fertilidad se afecta debido a que esta condición ocasiona cambios en los procesos endocrinos, perturba el desarrollo folicular, disminuye la expresión de estro y también afecta la viabilidad de los espermatozoides y del embrión. El efecto más importante de las altas temperaturas se ha observado en embriones durante los primeros cinco días de desarrollo; estos embriones muestran un retraso en su desarrollo, el cual provoca su muerte temprana o puede comprometer el reconocimiento materno de la gestación. En diversos estudios se ha demostrado que temperaturas similares a las que puede sufrir una vaca en clima caluroso durante el verano, ocasionan muerte embrionaria. Aunque gran parte de la información disponible acerca del efecto del estrés calórico en la reproducción se refiere al ganado bovino, se debe considerar que las altas temperaturas pueden comprometer también la fertilidad en todas las especies, por lo que se recomienda proveer de instalaciones que disminuyan los efectos del estrés calórico. Por otro lado, la exposición del semental a altas temperaturas también puede afectar la fertilidad, debido a que se puede

ver comprometida la espermatogénesis, lo que resulta en una disminución de la calidad del semen (infertilidad del verano).

19.3.7. Estrés oxidativo

En general los animales domésticos sujetos a alta exigencia productiva tienen un metabolismo intenso. Bajo estas circunstancias se incrementa la generación de especies reactivas de oxígeno. En las vacas lecheras grandes productoras se ha estimado que aproximadamente 1-2% del oxígeno metabolizado se convierte en especies reactivas de oxígeno (radicales libres superóxido, radicales peróxido e hidroxilo y los oxidantes no radicales como el peróxido de hidrógeno y oxígeno singulante). Estas sustancias tienen efectos dañinos al causar lipoperoxidación y en consecuencia daño al DNA y destrucción de las proteínas. Las especies reactivas de oxígeno son removidas por sistemas bioquímicos presentes en las células y en los fluidos extracelulares; estos mecanismos se conocen como sistemas antioxidantes. Estos sistemas incluyen moléculas como el β -caroteno y la vitamina E, las cuales actúan a nivel de la membrana celular hidrolizando peróxidos para mantener la integridad de los fosfolípidos. En este mecanismo también participan enzimas como la glutatión peroxidasa, la cual es dependiente del selenio.

La producción excesiva de radicales libres puede afectar la fertilidad debido a que los tejidos esteroideogénicos del ovario, los espermatozoides y los embriones en etapas tempranas de desarrollo, son muy sensibles al daño causado por ellos.

19.3.8. Otras causas

Condiciones que cursen con producción de endotoxinas (acidosis ruminal, mastitis, endometritis) pueden ocasionar la muerte temprana del embrión y en consecuencia falla en la concepción. También se tiene evidencia de que sustancias tóxicas en la dieta, tales como gospol o exceso de proteína, afectan el desarrollo embrionario temprano.

19.3.9. Corrección del problema

Tomando en cuenta que la etiología de la falla en la concepción es muy variada, la estrategia para resolverla debe dirigirse a investigar cada una de las causas posibles.

En cualquier especie se deben revisar con detalle los tres elementos que intervienen en el proceso reproductivo: el factor humano, el macho y la hembra.

19.3.9.1. *El factor humano*

El problema de la falla en la concepción puede tener su origen en el factor humano, por lo que se considerará al propietario, al personal de la explotación y al personal involucrado en el manejo reproductivo y en particular en la inseminación artificial.

- Se debe evaluar la eficiencia y precisión de la detección de estros. Eficiencia se debe entender como la proporción de vacas que son observadas en calor del total elegible para ser inseminadas en un periodo equivalente a un ciclo estral (21 días). La precisión se refiere a la proporción de vacas que son detectadas en estro y que verdaderamente están en esta etapa del ciclo. Con frecuencia se realizan inseminaciones o montas a animales que no se encuentran en estro. En las especies que requieren de la presencia del macho para la detección del estro, se deberá tener especial atención de que la hembra seleccionada para recibir la monta o la inseminación, verdaderamente se encuentre en estro.
- Se deberá revisar el momento en que se practica la inseminación artificial relativo al inicio del estro. Cada especie, de acuerdo con su fisiología reproductiva, tiene un tiempo óptimo después del inicio del estro en que se obtienen los mejores porcentajes de concepción.
- El técnico encargado de realizar la inseminación deberá verificar que no existan secreciones anormales por la vulva indicativas de infecciones uterinas.
- Si el semen se está preparando en la explotación, se deberá revisar la técnica de recolección y procesamiento.
- Revisar posibles errores del inseminador por una mala técnica (descongelamiento inadecuado, falta de higiene o sitio incorrecto de depósito del semen).
- Manejo deficiente del semen congelado (nivel inadecuado de nitrógeno en el termo, exposición de las dosis a cambios de temperatura y al sol).

19.3.9.2. *El macho*

- Uso de sementales con baja fertilidad

Cuando se está utilizando la monta natural, se debe tener especial cuidado en que el semental utilizado sea fértil. Para esto, se debe hacer un examen

de la salud reproductiva del macho que incluya evaluaciones clínicas, de la libido, de genitales internos y externos y del semen (ver capítulo de Andrología).

Si se está empleando la inseminación artificial, se debe revisar la procedencia del semen, el manejo del termo, la técnica de descongelación y el manejo de éste hasta su depósito en los genitales de la hembra. Cuando se enfrenta un problema de falla en la concepción o cuando se está por iniciar un programa reproductivo, es importante hacer una evaluación del semen que se va a utilizar.

19.3.9.3. *La hembra*

La salud reproductiva de la hembra es un aspecto que se debe evaluar siempre que se enfrentan problemas de falla en la concepción.

- En hembras que permitan el examen de genitales por vía rectal (vaca y yegua), se deberá hacer esta revisión para descartar alteraciones (secreciones, endometritis, salpingitis, hidrosalpinx, adherencias ováricas).
- La condición corporal de la hembra puede influir en la fertilidad. Hembras con baja condición corporal tienden a tener baja fertilidad aun cuando estén presentando ciclos estrales regulares.
- La alta producción de leche se puede asociar con baja fertilidad. Es importante hacer una revisión de las dietas (energía, relación de aniones/cationes, tipo de fibra ofrecida, consumo de materia seca, micro y macrominerales, antioxidantes) y de los cambios en la condición corporal de las vacas.
- El número de servicio puede influir en la falla en la concepción. Esto es evidente en vacas lecheras en producción, en las cuales el primer servicio después del parto tiene baja fertilidad comparado con los servicios subsecuentes, mientras que en vaquillas el primer servicio es el más fértil.
- Infecciones uterinas subclínicas. Estas infecciones, al no poder ser diagnosticadas con la revisión rutinaria, pueden estar provocando fallas en la fertilización y muerte embrionaria temprana. El examen rectal y vaginal permite un diagnóstico correcto.
- Corrección del problema con tratamientos hormonales.

Ésta es un área de discusión permanente; sin embargo, se puede afirmar que no hay tratamientos hormonales generales efectivos para incrementar la

fertilidad en la hembra, ya que la etiología de la falla en la concepción es de naturaleza diversa. En la práctica, es común que se recurra al uso de diversas hormonas para resolver casos de baja fertilidad, muchas veces sin conocimiento exacto de su efecto. También es frecuente escuchar la recomendación de un tratamiento hormonal sin haber hecho evaluaciones responsables de su efectividad. Asimismo, tratar de mejorar la fertilidad en el macho con hormonas es un grave error; se puede decir categóricamente que se deben evitar este tipo de tratamientos en el semental.

Aunque la progesterona desempeña un papel fundamental en el establecimiento de la gestación, su uso para mejorar la fertilidad está en discusión. En la vaca los resultados de tratamientos orientados a incrementar los porcentajes de concepción mediante la administración de progesterona o a través del mejoramiento de la función lútea, aplicando la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) o gonadotropina coriónica humana (hCG), son contrastantes. En algunos estudios se ha observado un mejoramiento de la fertilidad mientras que en otros no ha habido ningún efecto.

Un tratamiento que en vacas repetidoras (vacas con cuatro o más servicios previos) ha demostrado ser efectivo, consiste en la administración de la hormona de crecimiento (somatotropina bovina). Esta hormona, administrada el día del estro (500 mg), mejora el desarrollo del embrión y, en consecuencia, la fertilidad. Este tratamiento, integrado al esquema de sincronización del estro, también ha tenido un efecto favorable en la mayor fertilidad de ovejas y cabras, por lo que también se debe considerar como una posible herramienta en otras especies.

Como se observa en el listado anterior, el problema puede radicar en un gran número de factores. Se requiere investigar cuál o cuáles son los que originan la falla en la concepción.

19.4. LITERATURA RECOMENDADA

- Aréchiga, F.C.F., Vázquez-Flores, S., Ortiz, O., Hernández-Cerón, J., Porras, A., McDowell, L.R., Hansen, P.J. 1998. *Effect of injection of B-carotene or vitamin E and selenium on fertility of lactating dairy cows*. Theriogenology 50:65.
- Butler, W.R. 2000. *Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle*. Anim Reprod Sci 60-61:449.
- Gröhn, Y.T., Rajala-Schultz, P.J. 2000. *Epidemiology of reproductive performance in dairy cows*. Anim Reprod Sci 60-61:605.
- Hernández, C.J., Porras, A.A., Benítez, S. 1994. *Eficiencia de la detección de estros y niveles de progesterona al momento de la inseminación de vacas Holstein*. Av en Inv. Agropecuaria 3:12.

22. BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO

SANDRA ESTRADA / CARLOS GALINA

- 22.1. INTRODUCCIÓN. LA IMPORTANCIA DEL DOBLE PROPÓSITO
- 22.2. FACTORES QUE AFECTAN LOS SISTEMAS DE DOBLE PROPÓSITO
- 22.3. EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA MEDIR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE LAS FINCAS
- 22.4. PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y SISTEMAS QUE PERMITAN MEJORAR ÉSTOS
- 22.5. LITERATURA RECOMENDADA

22.1. INTRODUCCIÓN. LA IMPORTANCIA DEL DOBLE PROPÓSITO

Los sistemas de producción basados en animales capaces de producir leche pero a su vez fomentar que las crías, sobre todo los machos, sean destinados al abasto, han tenido un importante nicho entre los ganaderos, particularmente aquellos que se encuentran en las zonas del trópico bajo del mundo. Los sistemas creados han suscitado una gran cantidad de preguntas, las cuales pueden ser resumidas de la siguiente manera: 1) El grado de heterosis de los bovinos destinados a este propósito, por ejemplo si las vacas tienen más de $3/4$ de sangre europea su resistencia a enfermedades y su capacidad para disipar calor se ven seriamente comprometidas. Por el contrario, si la cantidad de sangre europea no sobrepasa el 30%, entonces la producción de esos animales, sobre todo la de leche, es la que se ve seriamente comprometida. 2) Los sistemas de producción de estos ganaderos tienen un cierto sesgo (a pesar de ser doble propósito), ya sea hacia la producción de leche o hacia la de carne. Por ejemplo hay ganaderos cuyo ingreso principal es la leche y la venta de becerros funciona como una alcancía dentro de la finca. Contrariamente, existen productores cuyo principal ingreso es la carne y la leche funciona como un mecanismo de sustento tanto para los trabajadores, como para las crías mismas. Las necesidades reproductivas de las vacas de estos productores serán obviamente diferentes. 3) La capacidad de inversión del productor; cada vez existen más productores con recursos para invertir y el ganadero de subsistencia se ve en la necesidad de asociarse por medio de cooperativas para poder mantenerse económicamente activo. Las necesidades de estos productores, pero sobre todo el paquete reproductivo que se pueda

implementar con uno u otro productor, son muy diferentes. 4) Existen productores que, generalmente asociado con su grado de estudios, prefieren intentar el uso de la inseminación artificial para el programa reproductivo de su finca, mientras que hay otros que optan todavía por el uso del toro. Una vez más las necesidades de estos productores son diametralmente opuestas desde el punto de vista reproductivo. 5) En vista de la popularidad que han alcanzado los sistemas de producción de doble propósito, cada vez más se han distribuido hacia zonas de climas más templados, y la situación geográfica de la explotación afectará los resultados reproductivos. 6) En los sistemas de ordeña, por ejemplo en los comienzos de este tipo de ganadería, la mayoría de la leche obtenida era a través de sistemas de ordeña manual, generalmente apoyados con la presencia de la cría para favorecer la bajada de la leche. Con el tiempo, las hembras se han acostumbrado a bajar la leche sin el apoyo de la cría y no es raro encontrar explotaciones donde la cría ni siquiera está presente. La modernización de este tipo de ganadería ha fomentado la utilización de equipos de ordeña de los más diversos tipos y sistemas. Todas estas variantes afectan o favorecen la eficiencia reproductiva de las vacas. 7) Conforme ha avanzado nuestro conocimiento en las explotaciones de doble propósito, es posible asumir que los problemas reproductivos están también en íntima relación con la cantidad de leche producida; las ganaderías con producciones por arriba de 8 litros por ordeña (sea ésta una o dos al día) tienen una diferencia notable desde el punto de vista reproductivo cuando se les compara con productores de subsistencia cuya contabilidad en la producción de leche no sobrepasa los 4-6 litros por ordeña.

22.2. FACTORES QUE AFECTAN LOS SISTEMAS DE DOBLE PROPÓSITO

22.2.1. Raza

Uno de los grandes problemas de este sistema es el tipo de raza o cruce que se elige para la explotación, pero sobre todo el tipo de cruzamientos que se van a implementar para mantener al sistema viable. Existen numerosos estudios ilustrando que la introducción de razas europeas especializadas en producción de leche al trópico bajo, tiene resultados impredecibles en cuanto a los costos de producción generalmente muy por encima del beneficio genético que pueda aportar la raza en cuestión. Es por ello que la mayoría de los productores han optado por cruzar a sus animales con toros de razas lecheras con el fin de optimizar la producción de leche de sus hatos. Por muy loable que sea esta decisión, la heredabilidad de estas características lecheras estará en función del grado de heterosis, la cual por lo general sí tiene más de 75% de europeo, lo cual trae como consecuencia una pobre resistencia al

medio ambiente, así como un uso deficiente de los insumos locales. Por el contrario, si la heterosis es hacia razas de tipo indicus, entonces la producción de leche será igual o peor que si no se realizara programa alguno de cruzamientos. Otra alternativa es la cruce rotacional entre tres razas para mantener el vigor híbrido con las consecuencias obvias de mantener diversos genotipos en la finca. Debido a lo anterior, el productor se ve en la constante dificultad de no contar con un programa genético estable para las condiciones de su finca. Por ello, los estudiosos han recomendado que un esquema genético simple se base en la característica de interés en el sistema como son producción, sobrevivencia, crecimiento y producción de leche. Todas son de importancia económica y existen diferencias muy grandes entre grupos raciales con respecto a cada una. Si los técnicos y productores seleccionan con base en estos criterios dejando de lado el fenotipo, posiblemente mejoren su hato con el tiempo.

Con el perfeccionamiento de la transferencia de embriones ha habido algunos intentos de producir embriones F1 (*Bos taurus x Bos indicus*) para ser colocados en hembras cruzadas. Los beneficios son obvios, el vigor híbrido del F1 sobrepasa por mucho los parámetros productivos y de resistencia a enfermedades comparado con otro tipo de cruzamientos o razas puras. Asimismo, el pequeño productor contaría con el gran beneficio al disponer de reemplazos en su finca con un mismo nivel de heterosis, lo que simplificaría su manejo. Debido a lo anterior, existen programas de mejoramiento genético basados en embriones aplicados en una buena cantidad de países en desarrollo. Sus resultados son muy variables pero, en general, el costo por gestación es demasiado oneroso para el productor y da la impresión de que la única manera de que estos programas continúen es por el subsidio económico del organismo interesado en implementarlo. No obstante en el futuro, con la producción de embriones por fertilización *in vitro*, utilizando para ello ovarios de animales sacrificados en el matadero, se podrían reducir los costos de la producción. Sin embargo, es todavía necesaria más investigación en métodos eficientes de detección de celos en las receptoras, adecuado nivel nutricional en la hembra para mantener una gestación y eficientes sistemas de implementación del programa, sobre todo con pequeños propietarios. En una encuesta realizada entre productores con respecto a un programa gubernamental se encontró que la queja principal era la no presencia del profesional a cargo del programa en la finca cuando era requerido, y no necesariamente el costo del embrión.

22.2.2. Sistema de implementación

Por el momento el productor basa su sistema reproductivo en la utilización de la inseminación artificial o por medio de la monta natural. En relación con

la primera técnica, los problemas son muy variados dependiendo de si la finca cuenta con facilidades para implementar este método, como disponer de un tanque de almacenamiento de semen y un inseminador; si el sistema es implementado a través de un programa cooperativo donde una finca tiene las facilidades y le presta el servicio a las demás. Finalmente, existen programas donde se ofrece un servicio de ruta y los productores colocan señales en el camino si los servicios del inseminador son requeridos. Sea cual fuere el sistema, la detección de los signos de estro en vacas de doble propósito es un problema bastante serio, sobre todo en productores con un hato reducido o que mantienen a las hembras en condiciones de pastoreo y no dedican el tiempo adecuado para observar su hato. A la par de estos problemas, los productores no cuentan con registros o servicios veterinarios, por lo que la magnitud del problema es realmente poco conocida.

Los productores que utilizan la monta natural también tienen un menú de opciones que pueden afectar la eficiencia reproductiva. Existen ganaderos que tienen sus propios toros y que los reemplazan cuando lo consideran conveniente sin una planeación adecuada. Hay otros que dependen del toro del vecino para servir a sus vacas y unos más que utilizan cualquier macho que se encuentra en la finca. Finalmente, la selección de la raza que se utilizará modificará el resultado. Por ejemplo, no es lo mismo utilizar toros Holstein en el trópico húmedo que montar un programa con toros cebuinos. En referencia a la utilización de toros híbridos, esta decisión tiene varias interrogantes: a) no se conoce el comportamiento de este tipo de toros; b) la heterosis se pierde en buena medida pues la variación genética que tiene el mismo toro híbrido lo hace impredecible; c) su principal limitante es que no hay toros probados genéticamente de este tipo de animales.

Es importante que el técnico tome en cuenta el tipo de sistema que está utilizando el productor para que tome las medidas adecuadas cuando se presente un problema relacionado con el sistema de monta utilizada.

22.2.3. Sistemas del control del amamantamiento

Los bovinos dedicados al sistema de doble propósito tienen un interesante bloqueo de su capacidad reproductiva producto del efecto de amamantamiento sobrepuesto sobre la producción de leche para fines comerciales. Considerando que esta situación es muy particular, existe relativamente poca información sobre el efecto que ambos escenarios (amamantamiento y producción de leche) tienen sobre el reinicio de la actividad ovárica. Esta explicación también se encuentra enmascarada por la gran cantidad de procedimientos que se aplican para ordeñar a la vaca y

proveer de nutrientes al becerro. Efectivamente, en ganado dedicado al doble propósito existen una gran variedad de métodos para cumplir con los objetivos arriba mencionados. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

1. El becerro ayuda a bajar la leche ya sea removiéndolo inmediatamente después de que la vaca baje la leche o dejándolo mamar un cuarto.
2. El becerro recibe la leche residual producto de su misma madre o del tanque de enfriamiento.
3. El becerro tiene la oportunidad de succionar a fondo a la madre de 4 a 6 h después de la primera ordeña; este método es utilizado en ganaderías donde la segunda ordeña no es práctica, ya sea por problemas de traslado o enfriamiento de la leche.
4. El becerro recibe alimento ya sea en una cubeta o a través de un chupón, mamila o mamadera.

Es obvio que el sistema a utilizar tendrá un efecto de mayor o menor envergadura dependiendo de la cantidad de leche que produzca la vaca y la época del año cuando se practica esta técnica; así, no es lo mismo la leche residual en la temporada de lluvias que en la de secas. De la misma forma, existirá un efecto diferente si la hembra es succionada por su cría o ésta recibe leche en una cubeta. Debido a esta variedad de sistemas es difícil recomendar métodos o procedimientos que se puedan aplicar a todos los tipos de ranchos ganaderos, pues ellos, a su vez, tienen una especial inclinación por algún componente del doble propósito. En efecto, las ganaderías pueden dividirse en tres tipos:

1. Especializadas en producción de leche, que generalmente optan por sistemas de crianza alterna en las crías, ya que la liquidez de su empresa depende de la venta de la leche.
2. Sistemas de producción de leche con apoyo del becerro. Estos sistemas son los que más se acercan al objetivo del doble propósito con un balance en los nutrientes que recibe la cría por medio de la leche y un ingreso en su finca por la venta del líquido y de la carne de las crías destinadas a abasto.
3. Un sistema basado en la producción de becerros para abasto o hembras que se destinarán para venta como reemplazos. En este caso la leche tiene una importancia de apoyo económico secundario, pues el principal ingreso del productor es la venta de animales en pie.

Debido a todo lo anterior, el técnico estudioso de la reproducción animal debe hacer una evaluación crítica de los objetivos de producción del ganadero, el fin zootécnico que se tiene contemplado y las herramientas con las que el productor pretende llevar a cabo su programa. El intentar establecer un sistema reproductivo sin antes haber hecho este tipo de análisis, tendrá poca probabilidad de éxito.

22.2.4. Intensidad zootécnica de los sistemas de producción

El ganado de doble propósito, criado bajo condiciones tropicales, está expuesto a condiciones climáticas extremas, las cuales tendrán que ser atendidas por los productores si quieren expresar el potencial productivo de sus vacas. Varios estudios han demostrado que vacas predominantemente de las razas europeas, alojadas en ambientes confortables, tienden a parir en los meses fríos del año, mientras que ganado de tipo similar, alojado en condiciones carentes, tiene sus partos en el caluroso clima de la época de lluvias, cuando las pasturas están disponibles de forma natural. Es decir, cuando el ser humano puede solucionar los problemas de clima extremo, los animales buscan parir cuando la temperatura es confortable, como en el caso de razas europeas. Al no poder atender los requerimientos nutricionales de la vaca, ésta tiene que adaptarse y parir cuando hay mayor disponibilidad en la cantidad de forraje, sacrificando el bienestar térmico.

Se ha dicho que la reproducción es una función de lujo, y los animales mal alimentados tendrán dificultades para llevarla a cabo adecuadamente. Los agricultores en países en vías de desarrollo tienen serios problemas en la producción de un suplemento alimenticio estable durante el año, por lo que no es sorprendente encontrar un pobre nivel nutricional del ganado como un grave contratiempo a la eficiencia reproductiva del hato. Esta situación se agrava usualmente cuando los agricultores dependen únicamente de productos obtenidos en la temporada de lluvias y sólo pueden ofrecer pocos o nulos suplementos en la época de sequía. Los productores se enfrentan al reto de elegir entre producir leche todo el año, con el costo inherente, o planear un sistema estratégico de partos con el fin de optimizar los recursos tanto materiales como biológicos de la finca. Sin embargo, este sistema tiene la gran limitante de que el ganadero no contará con leche fresca durante todo el año, con las consecuencias logísticas que implica la administración de los recursos humanos y materiales. En el pasado, unidades medianamente intensificadas, eran programadas para tener una baja inversión con un modesto ingreso proveniente de la venta de carne o leche. Por consiguiente, los programas reproductivos fueron mantenidos al mínimo, mientras no hubiera

una presión económica inmediata para llegar a ser más eficientes. Sin embargo, en muchos países, la demanda de tierras de los sectores más pobres de la sociedad ha creado la necesidad de ser más eficaces en su uso. Por lo tanto, no es inusual encontrar ejemplos de una adecuada optimización de los pastizales, así como de la implementación de programas de suplementación estratégica en épocas críticas del año. Por lo tanto, los profesionales involucrados en el trabajo cotidiano en las fincas deben tener la capacidad de resolver problemas nutricionales e implementar estrategias para mantener un adecuado plano nutricional, maximizando los recursos disponibles de la finca.

Por otro lado, se tiene como costumbre transferir los desarrollos tecnológicos de países industrializados a países en desarrollo, con el propósito de proveer procesos tradicionales de cría de ganado para la administración de éste. Este acercamiento ha sido razonablemente exitoso en ganado criado en ambientes similares para los que la tecnología fue creada. En Latinoamérica, por ejemplo, esto es particularmente verídico para el ganado Holstein que vive en zonas templadas. No obstante, se estima que casi dos tercios del ganado criado en esta región se concentra en las áreas bajas, donde las razas nativas de ganado son explotadas bajo condiciones ambientales ásperas. La situación ha creado la necesidad de importar tecnologías no adaptables a las condiciones locales prevalecientes en las tierras tropicales bajas de Latinoamérica. Sin embargo, pocos esfuerzos de investigación se han enfocado a responder preguntas creadas por el uso de sistemas desarrollados en otros lugares del mundo. Además, los resultados disponibles han sido difíciles de interpretar debido a las diversas condiciones en que los animales son criados.

Los sistemas de producción de ganado dedicado al doble propósito han sido beneficiados con el efecto que produce la heterosis entre ganado de tipo *Bos taurus x Bos indicus*. La cruce resultante F1 presenta un desarrollo superior a los otros cruzamientos. Sin embargo, el manejo alimenticio que se tenga en la finca va a dictar la producción total de leche por lactancia y, por ende, los problemas reproductivos. Por ejemplo fincas con buen manejo tendrán generalmente lactancias de 2800 a 4200 kg. En contraste, fincas pobremente manejadas tendrán lactancias en un promedio inferior a 2800 kg. Los problemas reproductivos en estas ganaderías pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) En las ganaderías con bajos rendimientos en la producción de leche, generalmente el anestro posparto y la repetición de servicios son las causas más comunes de que el intervalo entre partos sea casi siempre mayor a 15 meses. La pobre condición corporal de

las hembras impide el correcto funcionamiento del aparato reproductor reflejado en largos intervalos del parto al reinicio de la actividad ovárica. Si el técnico opta por aplicar métodos como la sincronización de celos, éstos se verán acompañados de un estro no ovulatorio o una pobre capacidad de la hembra en mantener la gestación y, por ende, habrá alta incidencia de muerte embrionaria.

- b) En las fincas con buen desempeño y con lactancias de alrededor de los 3000 kg, las hembras tienen en general una buena porción de sangre europea. En estos casos, las hembras que tienen la mejor producción láctea son las que experimentan la más destacada eficiencia reproductiva, la cual se puede explicar porque son los animales más adaptados a las condiciones existentes. Estas vacas se encuentran más susceptibles a cambios bruscos en el manejo del hato, y las hembras que alcanzan producciones que se acercan a los 4000 kg usualmente pierden su ventaja de adaptación y empiezan a experimentar problemas propios de las vacas altas productoras en zonas templadas, como son infertilidad, repetición de servicios y muerte embrionaria. El técnico debe hacer un cuidadoso seguimiento de estos animales por medio de los cambios de la condición corporal.

22.3. EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA MEDIR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE LAS FINCAS

En la actualidad los sistemas basados en la ganadería de doble propósito ofrecen al médico veterinario el reto de no sólo limitarse a la detección e identificación de las enfermedades que puedan estar afectando la salud del hato, sino además aplicar conocimientos específicos de todas las variables que intervienen en el manejo de una finca para lograr una producción eficiente. Para poder conocer el estado en que se encuentran los diferentes sistemas de producción y tomar decisiones para modificar cualquier variable que esté incidiendo negativamente en la producción, es necesario trabajar utilizando los programas de manejo de la salud y producción del hato (MSPH), logrando con éstos un acercamiento planeado y coordinado, que tiene como fin lograr y mantener una excelente salud y una eficiencia productiva del hato. En estos programas se usa el mismo razonamiento que en la clínica de animales individuales, sólo que los indicadores de salud tradicionales (parámetros físicos del animal) se cambian por parámetros de producción de hato (figuras de rendimiento).

Para ello es indispensable conocer la estructura funcional de un sistema de producción, sobre todo si se trata de un régimen tan diversificado como el sistema de doble propósito en los trópicos. Es lógico pensar que sin un adecuado conocimiento de los componentes y sus interacciones, no se puede prestar asistencia técnica eficiente a una finca. Por ello, el uso de técnicas de análisis de los sistemas de producción es de gran utilidad para cumplir con este requerimiento. En los sistemas de producción modernos el éxito en el manejo se basa en el monitoreo de todas las actividades, y en que esta información sea procesada, evaluada, analizada e interpretada adecuadamente. Este principio constituye una condición indispensable para la evaluación del funcionamiento de la finca y para determinar si las metas se están alcanzando. La información generada permitirá comprender los diferentes aspectos involucrados en el manejo, ya que muchos problemas pueden permanecer invisibles cuando no existe la posibilidad de calcular índices de productividad basados en datos bien registrados y confiables. Esto, sin duda, será de gran ayuda tanto para el ganadero como para el personal técnico. Sin registros apropiados es poco probable obtener beneficios de programas de salud de hato y control de la producción, y el proceso de diagnóstico y control no pueden ser ejecutados. Por el contrario, si los datos son de buena calidad, el papel que se realice como asesor se verá reforzado, pues se podrán tomar decisiones basadas en los hechos; el asesor se convertirá entonces en un intérprete de la información de la finca.

La información de una finca puede registrarse en sistemas simples, como un diario o registros manuales en cuadernos o tarjetas. Sin embargo, con el advenimiento de las computadoras, los registros se pueden llevar de manera más fácil y eficiente a través de programas diseñados específicamente para esta tarea. Estos programas han permitido que se establezcan redes de información entre productores a fin de que los finqueros y sus asesores puedan evaluar la eficiencia técnica de su negocio a través de la comparación de sus parámetros técnicos contra los parámetros de otras fincas, ya sea porque pertenecen a una misma zona geográfica con similares condiciones climatológicas, o porque poseen un sistema de producción similar. Esta comparación les permite comprender el potencial, por un lado, y las limitaciones de su sistema, por el otro. Asimismo, los sistemas de información permiten establecer valores de referencia para los principales parámetros de eficiencia reproductiva y productiva que podrán ser usados durante el análisis para identificar los valores que no alcanzan el promedio en una misma zona geográfica, o de sistemas de producción semejantes. De esta forma podrán tomar medidas correctivas que permitan mejorar estos valores.

Es lógico pensar que el uso de programas de computación tiene un papel clave en la captación, el almacenamiento y el procesamiento de estos

datos, y por lo tanto su uso facilita el manejo de la salud y producción del hato. Por medio de estos sistemas disminuye enormemente el tiempo requerido para analizar la información. Las computadoras permiten tener acceso a información que antes era difícil obtener (básicamente por el tiempo que se requería para procesarla manualmente). Además, permiten tener fácil acceso a nuevos beneficios, como las listas de acción en las que el usuario fija los parámetros que considere pertinentes y la lista de las vacas requeridas a revisión.

Sin embargo, tal vez la principal limitación en América Latina sea pretender que en los sistemas de doble propósito existan computadoras en cada una de las fincas, así como empleados con la capacidad suficiente para utilizar estas computadoras. En la mayoría de los casos son fincas muy rústicas, donde en ocasiones ni las necesidades básicas de electricidad están cubiertas. La experiencia en algunos países del trópico ha hecho posible demostrar que no es necesario tener computadoras en cada finca para poder llevar a cabo estos programas de manejo de la salud y producción del hato (MSPH) y contar con todos sus beneficios, es suficiente con que los asesores almacenen la información en sus computadoras, o bien por medio de cooperativas en las que se brinde el servicio a los finqueros sin que ellos estén directamente involucrados en el uso de estos programas. El asesor, luego de recopilar toda la información, deja listados de todas las actividades que se deben realizar y un análisis de los principales parámetros para que éstos sean examinados durante la visita del médico veterinario o sus asesores.

22.4. PARÁMETROS REPRODUCTIVOS Y SISTEMAS QUE PERMITAN MEJORAR ÉSTOS

Los cuadros 22.1 y 22.2 muestran algunos parámetros reproductivos y sistemas para mejorar éstos, según cada caso particular.

Cuadro 22.1.

Edad promedio, en meses, del primer parto en diferentes razas bajo condiciones tropicales

RAZAS	NÚM. DE ESTUDIOS	SIGNIFICADO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ERROR ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	95% DE CERTEZA EN EL INTERVALO REAL
Bos taurus	86	32.3	5.9	1.9	26.0	47.2	27.0-37.5
Bos indicus	65	44.4	6.4	2.1	33.6	54.8	38.7-50.1

(Continúa)

Cuadro 22.1. (Continuación)

Promedio, en días, del intervalo en partos, en diferentes razas bajo condiciones tropicales

RAZAS	NÚM. DE ESTUDIOS	SIGNIFICADO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ERROR ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	95% DE CERTEZA EN EL INTERVALO REAL
Bos taurus	52	15.5	2.1	0.8	13.0	19.5	12.2-18.8
Bos indicus	44	15.8	2.4	1.1	13.4	19.2	11.4-20.3

Cuadro 22.2. Promedio de los parámetros reproductivos en ganado explotado para producción de leche, carne y doble propósito bajo condiciones existentes en México. (Los valores dentro de los paréntesis indican el número de estudios)

PARÁMETRO REPRODUCTIVO (D)	LECHE	CARNE	DOBLE PROPÓSITO
Edad de pubertad	457 ^a (10)	529 ^a (13)	547 ^a (15)
Edad de la primera monta	586 ^a (10)	691 ^a (20)	729 ^a (12)
Edad a la primera concepción	602 ^a (14)	779 ^b (26)	885 ^c (23)
Edad al primer parto	925 ^a (35)	1049 ^b (29)	1133 ^c (68)
Intervalo entre el parto y el primer estro	65 ^a (35)	68 ^a (35)	94 ^a (50)
Intervalo entre el parto y la primera monta	71 ^a (17)	85 ^a (16)	129 ^b (25)
Intervalo entre el parto y la concepción	139 ^a (56)	150 ^a (64)	154 ^a (76)
Intervalo del parto	435 ^a (73)	437 ^a (78)	426 ^b (112)

Adaptado de Anta y cols. (1989); ver bibliografía.

22.5. LITERATURA RECOMENDADA

- Aluja, A., y McDowell, R.E. 1984. *Decision making by livestock/crop small holders in the state of Veracruz, Mexico*. Cornell International Agriculture Mimeograph 105. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, New York.
- Anta, E., Rivera, J.A., Galina, C.S., Porras, A., Zarco, L. 1989. *Análisis de la información publicada en México sobre eficiencia reproductiva de los bovinos*. II. Parámetros reproductivos. *Vet Méx* 20: 11.

29. BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS

HUMBERTO TRIBULO / GABRIEL BO

- 29.1. INTRODUCCIÓN
- 29.2. MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL PARA APLICAR INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A TIEMPO FIJO
- 29.3. SINCRONIZACIÓN DEL CELO CON PROSTAGLANDINA $F_2\alpha$
- 29.4. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR Y LA OVULACIÓN UTILIZANDO GNRH Y PGF
- 29.5. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR Y LA OVULACIÓN UTILIZANDO PROGESTÁGENOS Y ESTRÓGENOS
- 29.6. TRANSFERENCIA DE EMBRIONES Y MANEJO DE RECEPTORAS
- 29.7. LA TÉCNICA DE LA TRANSFERENCIA DE LOS EMBRIONES
- 29.8. MANEJO DE LAS RECEPTORAS
- 29.9. LITERATURA RECOMENDADA

29.1. INTRODUCCIÓN

Las biotecnologías reproductivas más utilizadas en los sistemas de producción son la inseminación artificial (IA) y la transferencia de embriones (TE).

A pesar de que tanto la IA como la TE han demostrado gran utilidad en los programas de mejoramiento genético, el porcentaje de los bovinos incluidos en estas tecnologías continúa siendo muy bajo en todos los países de Latinoamérica. En Argentina, según datos del Servicio Nacional de Sanidad Agroalimentaria (SENASA), solamente el 7% del hato nacional es cubierto por IA, y aproximadamente unas 4000 vacas son utilizadas por año para producir embriones. En países como México, donde existen zonas especializadas en la producción de leche, el número de animales puede aumentar pero no será mayor de 50% del hato.

Sin duda esta baja utilización está motivada por factores económicos y culturales, pero las dificultades técnicas también inciden. La detección del celo, sobre todo en períodos largos, aparece como la mayor dificultad para la IA, y también para la siembra de embriones en las receptoras.

La sincronización del celo y recientemente la sincronización de la ovulación, son biotecnologías que están haciendo un importante aporte en la aplicación de IA y TE. Cumplir con la premisa de producir un ternero por

vaca por año es el objetivo principal de todo ganadero. Esto exige que en 80-90 días la vaca recupere su actividad cíclica después del parto y quede preñada nuevamente. Por lo tanto, las vacas con cría al pie tienen menores posibilidades de quedar preñadas.

Con respecto a las novillas, no existen dudas de que las que quedan preñadas al principio del servicio tienen una productividad mayor que las gestantes al final del servicio. En programas de IA o TE, la pérdida de un ciclo es particularmente crítica y se traduce en pérdida económica. El ciclo estral dura entre 18 y 23 días, y la oportunidad de servicio muy pocas horas, por esto, la detección del celo es una actividad clave del trabajo de IA; es ineludible, rutinaria, y el cansancio o la misma rutina de la actividad lleva a errores, ya sea de no detección de animales en celo o la detección de animales que no lo están. Esta causa ha sido una de las mayores limitantes para la utilización masiva de la IA en hatos bovinos y una dificultad importante en la TE en sistemas extensivos.

El éxito de los programas de sincronización de celo para IA o TE se sustenta en el conocimiento de tres áreas fundamentales: 1) fisiología del ciclo estral de la vaca, 2) productos farmacológicos y sus efectos sobre el ciclo estral de la vaca, y 3) factores de manejo del rebaño que reducen el anestro e incrementan las tasas de preñez.

Este capítulo está dividido en dos partes. En la primera desarrollaremos los aspectos de la manipulación del ciclo estral de los bovinos para realizar IA sin necesidad de detectar el celo (también llamada IA a tiempo fijo o IATF), y la segunda estará dedicada a la TE y a la sincronización y manejo de las receptoras.

29.2. MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL PARA APLICAR INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A TIEMPO FIJO

29.2.1. Generalidades

La IA es una de las técnicas reproductivas de mayor impacto en la producción ganadera. Sin embargo, existe la necesidad de observar celo dos veces por día, sin importar las condiciones climáticas, la época del año, los feriados, las vacaciones ni otras actividades del personal en una explotación ganadera; todo está en contra de la eficiencia de esta actividad rutinaria y compromete considerablemente la productividad del sistema. La modificación de los ciclos para que todas las hembras presenten celo y ovulen en un periodo breve de tiempo, es el objetivo que ha estimulado el desarrollo de numerosas líneas de investigación por muchos años. La utilización de la ultrasonografía para

estudiar el efecto de distintos tratamientos hormonales sobre la dinámica folicular en el bovino, llevó al desarrollo de protocolos que permiten manipular eficientemente el ciclo estral y la ovulación. Existen hoy numerosos protocolos de sincronización de celo y ovulaciones, y cada uno presenta ventajas y desventajas. Por esto, el médico veterinario debe tener un conocimiento profundo de la fisiología reproductiva del bovino, para determinar cuál es el método más adecuado para los distintos ambientes y animales con los que debe trabajar.

29.3. SINCRONIZACIÓN DEL CELO CON PROSTAGLANDINA $F_2\alpha$

El descubrimiento de la prostaglandina $F_2\alpha$ (PGF) como la sustancia luteolítica producida en el útero en varias especies domésticas, marcó un hito en el desarrollo de la biotecnología reproductiva a partir de la década de 1970, al punto de que todavía hoy la PGF y sus análogos son los agentes farmacológicos más utilizados en programas de sincronización de celo en el ganado bovino. El tratamiento con PGF causa la regresión de un CL maduro, y su utilización en el ámbito comercial se basa en la premisa de que la eliminación de la detección de celo era un requisito primordial. Sin embargo, pronto quedó claro que la aplicación de la doble inyección de PGF con IA sin detección de celo tenía un valor muy limitado, con resultados muy variables en novillas, y malos resultados en vacas. Esto se debe a que la respuesta a un tratamiento de sincronización de celo con PGF va a depender de la ciclicidad del hato (sólo es efectiva en vacas con un CL funcional), y del estado de desarrollo del folículo dominante en el momento del tratamiento.

En teoría, entre 80 y 90% de los animales con un CL deberían entrar en celo dentro de los 5 días después del tratamiento con dos dosis de PGF cada 11 o 14 días. No obstante, errores en la palpación y en la detección del celo determinan que entre 60 y 75% de los animales tratados resulten inseminados. Por lo tanto, este tratamiento sólo debe utilizarse cuando las vacas o novillas que están ciclando han sido cuidadosamente seleccionadas, y en condiciones de alimentación que permitan esperar una razonable fertilidad.

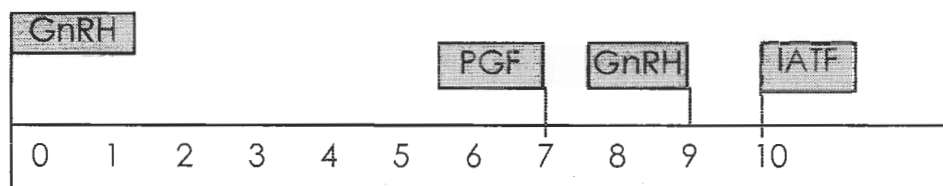
La IATF después de un tratamiento con PGF tampoco es efectiva, porque el intervalo al estro y la ovulación depende del estado del folículo dominante en el momento de la aplicación de la PGF. Cuando el folículo dominante se encuentra en la fase de crecimiento o estática temprana, las novillas mostrarán celo a las 48-60 h del tratamiento, y ovularán 28-30 h después. En cambio, si el folículo se encuentra en la fase de regresión, el folículo dominante de la próxima onda será el folículo ovulatorio, y en este caso los animales entrarán en celo entre los 5 y 7 días después del tratamiento.

Por lo tanto, para tener buenas tasas de preñez con estos esquemas, es necesario detectar el celo de los animales para realizar la IA a las 12 h.

29.4. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR Y LA OVULACIÓN UTILIZANDO GnRH Y PGF

El tratamiento a base de GnRH y PGF, conocido con el nombre de Ovsynch, es uno de los protocolos desarrollados para controlar el desarrollo folicular y la ovulación. El tratamiento (figura 29.1) consiste en la administración de un análogo de la GnRH (para sincronizar el desarrollo folicular), seguido de una inyección de PGF 7 días más tarde (para inducir la luteólisis), una inyección de GnRH 36 a 48 h después de la PGF (para sincronizar la ovulación) e IATF a las 15 h de la segunda GnRH. El uso de la primera GnRH se basa en la inducción de un pico de LH y consecuentemente en la ovulación de un folículo dominante, que a su vez resulta en una nueva onda de crecimiento folicular 2 o 3 días después. Se han publicado algunas variaciones al protocolo Ovsynch que consisten en utilizar LH en lugar de GnRH, inyectar PGF en el día 6 en lugar del día 7, realizar la IATF en el mismo momento en que se administra la segunda GnRH en vacas productoras de carne con cría (tratamiento llamado CoSynch), o reemplazar la segunda GnRH con 1 mg de benzoato de estradiol (EB) a las 24 h de la PGF, e IATF 30 h después del EB (tratamiento llamado GPE).

El protocolo Ovsynch y sus variantes han demostrado ser muy sensibles al estado fisiológico de la hembra con que se trabaja. Este protocolo ha resultado en una fertilidad aceptable en vacas lecheras y productoras de carne que están ciclando. Pero los porcentajes de preñez han sido muy variables en novillas (21 a 43%), y muy bajos en vacas en anestro (alrededor del 15%). Se ha demostrado que es posible incrementar los índices de preñez en vacas



Días de tratamiento

Figura 29.1. Esquema de tratamientos del protocolo Ovsynch. El tratamiento básico consiste en la administración de GnRH en el día 0, PGF en el día 7, y una segunda GnRH en el día 9. Se realiza IATF a las 15 h de la segunda GnRH. Variantes del tratamiento incluyen la administración de PGF en el día 6, la IATF en el día 9 junto con la segunda GnRH, o 1 mg de benzoato de estradiol (EB) en el día 8 e IATF en el día 9

en anestro y en novillas, mediante la colocación de un dispositivo con progesterona (P4) CIDR-B entre los días 0 y 7. Por lo tanto, la elección de este protocolo de IATF va a depender de la categoría de los animales y del estado de ciclicidad del hato.

29.5. SINCRONIZACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR Y LA OVULACIÓN UTILIZANDO PROGESTÁGENOS Y ESTRÓGENOS

El nombre genérico de los progestágenos incluye un grupo de compuestos que son similares a la P4, y están en el mercado desde hace varios años. Dentro de estos compuestos podemos citar los progestágenos de administración oral, como el acetato de melengestrol (MGA), los implantes subcutáneos de norgestomet, y los dispositivos intravaginales con P4. Con la llegada de las PGF al mercado, los progestágenos dejaron de usarse en algunos sistemas debido a que con los tratamientos de 14 días para esperar la regresión natural del CL se obtenía una buena sincronía del celo pero baja fertilidad, debido a que los progestágenos no inhiben la secreción pulsátil de LH como lo hace la P4 producida por el CL del ciclo estral. La alta frecuencia de pulsos de LH hace que el folículo dominante persista, no se atresie, y se activa prematuramente al ovocito para que continúe con la meiosis, de manera que cuando se retira la fuente de P4, el folículo dominante persistente ovula un ovocito degenerado o en degeneración.

Durante la década de 1990, se observó que es posible evitar el problema de los folículos persistentes en los tratamientos con progestágenos mediante la administración de inyecciones de estrógenos y P4, que, a través de una retroalimentación negativa sobre las gonadotropinas circulantes, inducen la regresión del folículo dominante. La regresión del folículo dominante resulta, a su vez, en el crecimiento de una nueva onda folicular 3 a 8 días después (dependiendo del éster de estradiol utilizado). De esta manera, todos los animales tratados tendrán un folículo dominante nuevo, con un ovocito viable en el momento de la remoción del dispositivo con P4.

29.5.1. Tratamientos para IATF utilizando implantes con norgestomet

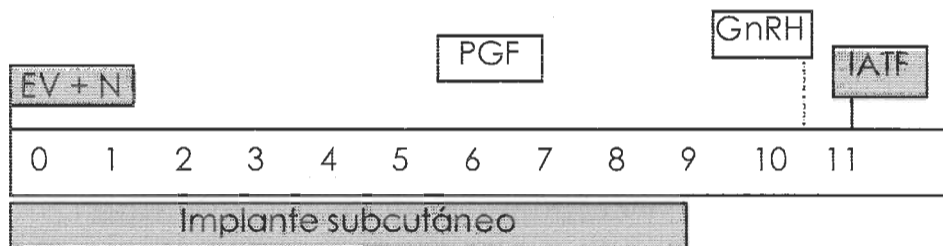
Norgestomet (N) es un progestágeno sintético utilizado en dos productos comerciales: Syncro-Mate-B (SMB, Merial) y Crestar (Intervet). El SMB ya no se encuentra disponible en el mercado. Crestar es un implante de silicón que contiene 3 mg de N. Se colocan estos implantes en forma subcutánea en la oreja y se retiran 9 días después (Figura 29.2). Además, se aplica una inyección de 5 mg de valerato de estradiol (EV), y 3 mg de N en el mismo momento en

que se coloca el implante (día 0). Se puede realizar IA a celo detectado dentro de los 5 días posteriores a la remoción del implante, o IATF a las 48 h de la remoción en las novillas, o a las 56 h en las vacas. El propósito original de la porción inyectable de este tratamiento es inducir la luteólisis con el EV, y obtener altos niveles inmediatos de progesterona con el N, que luego serían mantenidos con la liberación lenta del implante subcutáneo. Luego se descubrió que el EV inducía también, a través de la supresión de los folículos presentes, el desarrollo de una nueva onda folicular 3 a 8 días después.

El tratamiento con implantes ha sido muy utilizado para sincronizar el celo. Alrededor de 90% de los animales tratados entran en celo poco tiempo después de la remoción del implante, pero existen informes que indican una fertilidad variable, con porcentajes de preñez del 33 al 68%, sobre todo en programas de IATF. Las diferencias en las tasas de preñez pueden deberse al nivel de ciclicidad de los animales utilizados y a la condición corporal. También pueden responder a una variabilidad en el período entre la remoción del implante y la ovulación. Por esta razón, se desarrollaron protocolos alternativos, que incluyen la administración de GnRH 30 h después de la remoción del SMB, y resultan en una ovulación sincrónica, entre las 56 y 64 h de la remoción del implante. También se ha informado que la administración de una cápsula de gelatina con 250 mg de GnRH a las 30 h de retirado el implante, resulta en un mayor porcentaje de preñez a la IATF en vacas con cría que están ciclando o en anestro, con respecto a vacas que no recibieron GnRH.

Otra alternativa de inducción de la ovulación es utilizar 1 mg de EB a las 24 h de la remoción del implante, e IATF 26 a 28 h después. En un experimento realizado con novillas Holstein se observó que la ovulación de las novillas tratadas con EB a las 24 h de la remoción del SMB fue más temprana y menos variable (60 a 72 h), que las que no recibieron EB a las 24 h de la remoción (72 a 120 h). En las pruebas de campo, la adición de 1 mg de EB a las 24 h de la remoción del implante resultó en mayores porcentajes de preñez en vacas con cría cruzada cebú y novillas británicas.

A pesar de que el propósito original de la inyección de EV era la inducción de la luteólisis, se ha cuestionado que el EV tenga acción luteolítica en todos los estadios del ciclo estral. Vacas productoras de carne tratadas con SMB+EV en los días 1, 3 o 5 del ciclo estral, tuvieron un porcentaje de celo del 50, 33 y 23%, respectivamente; contra 96% de celo cuando las vacas fueron tratadas en el día 9. También se ha informado entre 10 y 15% más de preñez en vacas tratadas con SMB, que recibieron PGF 48 h antes de la remoción del dispositivo, en comparación con las que no recibieron PGF. Debemos entonces evaluar económicamente el beneficio de tener 10% más de preñez por la adición de PGF en el sistema. Tal vez dependa del precio



Días de tratamiento

Figura 29.2. Esquema de tratamientos con implantes con norgestomet (N). El tratamiento básico consiste en la inserción del implante por 9 d, y 5 mg de valerato de estradiol (EV) y 3 mg de N en el momento de la inserción. Se realiza IATF a las 48 h de la remoción del implante en novillas, y a las 56 h en vacas. Variantes del tratamiento incluyen la administración de PGF en el día 7 y la sincronización de la ovulación con GnRH en el día 10.5. También se puede inducir la ovulación con 1 mg de benzoato de estradiol (EB) en el día 10

del semen que utilizamos y del grado de ciclicidad del grupo de vacas por sincronizar.

29.5.2. Tratamientos para IATF utilizando dispositivos intravaginales con P4

Actualmente existen varios dispositivos intravaginales con P4 en el mercado internacional. Éstos son PRID (Sanofi), CIDR-B (Pfizer), DIB (Syntex, Argentina), TRIU-B (Biogénesis, Argentina) y Cue-Mate (Pfizer). El PRID contiene 1.55 g de P4 y es el precursor de los dispositivos intravaginales con P4. Hay dos modelos de CIDR-B que contienen 1.9 g de P4 o 1.38 g de P4. El TRIU-B y el DIB contienen 1 g de P4, y el Cue-Mate 1.56 g de P4.

El tratamiento más utilizado consiste en administrar 2 mg de EB al momento de la inserción del dispositivo (día 0; para sincronizar el desarrollo folicular), remover el dispositivo y administrar PGF en el día 7 (para inducir la luteólisis), y 0.75 o 1 mg de EB en el día 9 (para sincronizar la ovulación). Se realiza la IATF entre las 50 y 56 h de la remoción del dispositivo. Algunos dispositivos traen adheridos una cápsula con 10 mg de EB, para inducir la regresión luteal y sincronizar el desarrollo folicular. Sin embargo, se ha demostrado que la cápsula de EB no es efectiva para sincronizar el desarrollo folicular y es menos eficaz que la PGF para inducir la luteólisis. También se han utilizado 50 o 100 mg de P4 inyectable junto con los 2 mg de EB en el momento de la inserción de los dispositivos. A pesar de que la combinación de EB y P4 resulta en una onda folicular más sincrónica que cuando se administra EB solo, los resultados de preñez a IATF indican que no es necesario tener una sincronización de la onda tan exacta para obtener porcentajes aceptables de preñez. No obstante, como se observará en la segunda parte

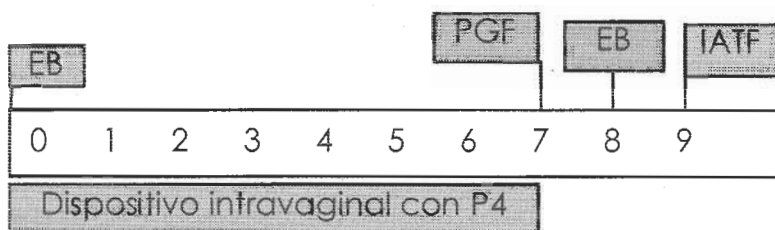
de este capítulo, su uso es fundamental en el tratamiento para superovular donantes de embriones, donde es necesario una máxima sincronía de comienzo de la onda folicular.

29.5.3. Sincronización de la ovulación con EB o GnRH en tratamientos con dispositivos con P4

Como ya se mencionó, el éxito del programa de IATF consiste en la sincronización del desarrollo folicular, pero también en una efectiva sincronización de la ovulación. La administración de 1 mg de EB a las 24 h de la remoción del dispositivo, resultó en una ovulación más sincrónica (entre las 66 y 84 h) que cuando no se administró EB (entre las 60 y 120). Por supuesto esto se reflejó en los porcentajes de preñez a la IATF, donde se observó una diferencia del 17% de preñez cuando se utilizó EB a las 24 h de la remoción del dispositivo y de IATF 30 h después (68.9%), que cuando se realizó directamente la IATF a las 54 h de la remoción del dispositivo (sin EB). Esto significa que se debe sincronizar la ovulación. Por otro lado, también se compararon los porcentajes de preñez en tratamientos en los que se dejó el dispositivo en la vagina por 7 u 8 días, y no se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de preñez (7 días = 60.0% de preñez, y 8 días = 58.2% de preñez). Esta posibilidad tiene mucha aplicación práctica, ya que se puede tratar un grupo grande de novillas y después retirar el dispositivo a la mitad en el día 7 y a la otra mitad en el día 8, facilitando el manejo de la IATF, y disminuyendo costos de movimiento de los técnicos.

Es posible que los tratamientos de 8 días sean más benéficos que los de 7 días en vacas en anestro posparto. En vacas en anestro se ha observado que si en el momento de la remoción de un CIDR-B el folículo dominante tenía más de 3 días desde su emergencia (8 a 9 mm de diámetro), las vacas ovulaban en respuesta al tratamiento de EB. Por el contrario, cuando el folículo tenía sólo un día desde su emergencia, la mayoría de las vacas no ovulaban, aunque mostraban signos de celo. Sin embargo esto no ocurrió en las novillas, que ovularon en su totalidad, y esto explicaría por qué no hemos encontrado diferencias entre los tratamientos de 7 u 8 días en novillas y vacas cíclicas.

Además del tratamiento con EB, se puede sincronizar la ovulación utilizando GnRH en el momento de la IATF (figura 29.3). En un trabajo realizado con vacas Brangus y Angus con cría que fueron tratadas con un CIDR-B por 8 días, se obtuvo un porcentaje de preñez del 57.7% en las vacas tratadas con EB a las 24 h pos CIDR-B; y 56.4% en vacas tratadas con 50 mg de GnRH (Cystorelin, Merial) en el momento de la IATF, que en ambos grupos se realizó entre las 52 y 56 h pos CIDR-B.



Días de tratamiento

Figura 29.3. Esquema de tratamientos con dispositivos intravaginales con progesterona (P4). El tratamiento básico consiste en la inserción del dispositivo y la administración de 2 mg de benzoato de estradiol (EB; día 0). En el día 7 se aplica PGF y se quita el dispositivo, y en el día 8 se aplica 1 mg de EB. Se realiza IATF a las 54 h luego de la remoción del dispositivo. Variantes del tratamiento incluyen alargar el tratamiento y sacar el dispositivo en el día 8, o la administración GnRH en el momento de la IATF en lugar de la segunda dosis de EB

29.5.4. Combinación de progestágenos con eCG en vacas posparto

Hace muchos años se promueve, sobre todo en Europa, la utilización de una dosis de gonadotropina coriónica equina (conocida internacionalmente con las siglas eCG o PMSG) al final del tratamiento para estimular el desarrollo folicular en novillas prepúberes, vacas con cría o vacas lecheras en anestro posparto. La eCG es una glicoproteína de larga vida media que tiene en la vaca un efecto similar a la FSH. El tratamiento con eCG en el momento de sacar el dispositivo ha resultado en un mayor porcentaje de preñez en vacas con condición corporal comprometida. Sin embargo, otros trabajos no han encontrado mayores índices de preñez en vacas posparto con alto porcentaje de ciclicidad y buena condición corporal. Por lo tanto, sería útil cuando las vacas están en una condición corporal comprometida y cuando hay un alto porcentaje de vacas en anestro.

La efectividad del tratamiento con eCG en comparación con el tratamiento con EB en programas de IATF, ha estado muy relacionada con el tipo de dispositivo y la sal de estradiol utilizada. El uso de eCG en lugar del EB a las 24 h de la remoción del Crestar, aumentó la preñez hasta 15% en vacas Nelore tratadas con Crestar por 9 días y 5 mg de EV + 3 mg de N en el día 0. Sin embargo, en tres experimentos realizados con vacas secas y con cría tratadas con dispositivos con P4 por 8 días y EB en el día 0 (el EB tiene una vida media mucho menor) (DIV-B, TRIU-B y PRID), el porcentaje de preñez del grupo tratado con eCG en el momento de sacar el dispositivo tuvo 15% menos de preñez que cuando se utilizó una segunda dosis de EB a las 24 h de la remoción del dispositivo (todas las vacas fueron IATF a las 54 h

de la remoción del dispositivo). También en esta serie de estudios, la utilización combinada de eCG en el momento de la remoción del dispositivo (para estimular el desarrollo folicular) y EB a las 24 h (para sincronizar la ovulación), aumentó la preñez hasta en 24% en vacas con cría en anestro, comparado con los tratamientos de eCG o EB solamente, a la remoción del dispositivo.

Por lo tanto, la eCG puede ser útil para el tratamiento de vacas en anestro (con una condición corporal aceptable, no muy flacas). Si utilizamos Crestar y EV podemos utilizar la eCG sola al momento de la remoción del Crestar, pero si utilizamos dispositivos intravaginales con P4 y EB debemos utilizar eCG cuando sacamos el dispositivo, y una segunda dosis de EB a las 24 h para sincronizar la ovulación.

29.5.5. Consideraciones finales y conclusiones

Los resultados presentados en este capítulo demuestran que para obtener una máxima fertilidad en los esquemas de IATF es necesario controlar el CL, el desarrollo folicular y la ovulación. Para conseguir esto se pueden utilizar tratamientos que combinan la administración de GnRH, PGF y una segunda GnRH, conocidos internacionalmente como Ovsynch. También los dispositivos con progestágenos son efectivos y deben ir acompañados de una inyección de estrógeno (EB EV) en el momento de su inserción, para sincronizar el desarrollo de una nueva onda folicular (y evitar el desarrollo de un folículo persistente) y obtener buenos índices de concepción. La administración de EB o GnRH después de la remoción de los dispositivos resulta en la ovulación del folículo dominante, y permite realizar IATF con buenos índices de preñez. Toda esta batería de tratamientos constituye una herramienta muy útil en los programas reproductivos en ganado productor de carne y leche.

29.6. TRANSFERENCIA DE EMBRIONES Y MANEJO DE RECEPTORAS

La TE es una técnica mediante la cual los embriones son recolectados de una hembra donante y transferidos a una hembra receptora, que sirve como madre sustituta durante la preñez. Este proceso usualmente requiere el uso de gonadotropinas para inducir superovulación en la donante, y por otro lado, sincronizar a las futuras receptoras para que estén en celo y ovulen al mismo tiempo que las donantes.

Las técnicas de TE han sido usadas en casi todos los animales domésticos, y en muchas especies salvajes y exóticas. En los últimos años, la TE ha alcanzado procedimientos que permiten la utilización de métodos no quirúrgicos en bovinos. Éstas también permiten mantener los embriones por

largo tiempo, mediante el congelamiento y almacenamiento en nitrógeno líquido.

Fue a principios de la década de 1970 cuando comenzó el gran interés comercial en la transferencia de embriones en el bovino. Las razas europeas de doble propósito eran importadas a Norteamérica, y dada su escasez eran extremadamente valiosas. Como resultado, existía gran incentivo económico para la aplicación de la TE; los criadores querían un método que aumentara el porcentaje reproductivo de sus hembras para una provechosa venta de su descendencia. En consecuencia, la técnica de transferencia embrionaria en animales domésticos fue desarrollada con dinero de los criadores, más que con fondos para investigación, como es tradicional.

Después de la implementación de la IA, la TE se ha convertido en la herramienta más poderosa para el mejoramiento animal. Varios países han incorporado programas de superovulación y TE (MOET) dentro de los programas de progenie, como ayuda para el mejoramiento genético en ganado productor de carne y leche.

La técnica de transferencia de embriones comprende varios pasos: la superovulación de las vacas donantes, la sincronización de donantes y receptoras, la IA de las donantes, la colección de los embriones, la clasificación y calificación de los embriones, la transferencia del embrión a la receptora, y el manejo previo y posterior de las receptoras.

29.6.1. Superovulación

El objetivo principal de los tratamientos de superovulación en vacas es producir un gran número de ovulaciones y obtener la máxima cantidad de embriones transferibles, que den como resultado una alta probabilidad de preñez. Sin embargo la respuesta a estos tratamientos es muy variable y difícil de predecir. En un trabajo que incluyó 2048 colecciones de embriones en donantes bovinas, se obtuvo un promedio de 11.5 ovocitos/embriones y 6.2 embriones transferibles por vaca. Sin embargo, la variabilidad fue muy grande, tanto en la respuesta a la superovulación, como en la calidad de los embriones. Veinticuatro por ciento de las recolecciones no produjeron embriones viables; 64% de las donantes produjeron menos embriones transferibles que el número promedio; 30% de las colecciones produjeron el 70% de los embriones. En otro estudio, que incluyó 987 vacas lecheras, se produjo un promedio ligeramente menor de ovocitos y embriones, pero la variación entre las respuestas de los distintos animales fue similar. Estos trabajos demuestran el alto grado de variabilidad en la respuesta superovulatoria, lo que genera muchos problemas que afectan tanto la eficiencia como la rentabilidad en los programas de transferencia de embriones.

La respuesta superovulatoria y la producción de embriones viables de una vaca donante, son resultados de un gran número de factores, entre ellos los relacionados con el tratamiento superovulatorio, factores individuales y ligados al ambiente. La identificación de estas causas se encuentra indicada en el cuadro 29.1.

Cuadro 29.1. Factores que afectan la respuesta superovulatoria de una donante

FACTORES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO EN RELACIÓN CON EL CICLO ESTRAL	FACTORES INHERENTES AL ANIMAL Y A SU AMBIENTE
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Momento de iniciación del tratamiento en relación con el ciclo estral ♦ Tipo de gonadotropina utilizada ♦ Lotes de gonadotropinas ♦ Relación FSH y LH de los preparados comerciales ♦ Duración del tratamiento ♦ Dosis total de gonadotropinas ♦ Vía de administración de las gonadotropinas ♦ Uso de hormonas adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Factores relacionados con el tratamiento en relación con el ciclo estral ♦ Estado nutricional ♦ Historia reproductiva ♦ Edad de la donante ♦ Estación del año ♦ Raza ♦ Causas genéticas o fisiológicas ♦ Repetición de tratamientos superovulatorios

El esquema tradicional de superovulación se encuentra indicado en el cuadro 29.2. Se comienzan los tratamientos con gonadotropinas entre los días 8 y 10 después de que se observa el celo, aproximadamente cuando comienza la segunda onda de crecimiento folicular. Las gonadotropinas más utilizadas son extractos de pituitarias porcina u ovina o gonadotropina coriónica equina (eCG). Los extractos de pituitaria son los más utilizados. Estos extractos contienen altas cantidades de FSH y cantidades variables de LH, dependiendo del producto. La vida media de la FSH es de 5 h y por lo tanto se debe administrar cada 12 h por vía intramuscular (IM). Generalmente los tratamientos consisten en dosis decrecientes o constantes durante 4 o 5 días, y se prefieren los extractos con bajo contenido de LH porque producen embriones de mejor calidad. La eCG es una glicoproteína compleja con actividad FSH y LH. Tiene una vida media aproximada de 40 h en la vaca y persiste por más de 10 días en la circulación sanguínea. Por esta razón, normalmente se administra en una sola dosis IM, seguida por antisuero anti-eCG o anticuerpos monoclonales anti-eCG en el momento de la primera IA. Además de la administración de gonadotropinas, la donante recibe una dosis luteolítica de PGF a las 48 h de comenzado el tratamiento superovulatorio, y regularmente presenta celo a las 36-48 h pos PGF. En caso de transferirse embriones frescos (sin congelar), las receptoras deberán ser tratadas con

PGF 18 a 24 h antes que las donantes, de manera que el estro de las receptoras coincida con el de las donantes.

Cuadro 29.2. Esquema de tratamiento tradicional de superovulación en bovinos

DÍA 0	DETECCIÓN DE CELO DE LA DONANTE
Día 9 am	Comienzo de la superovulación-donante
Día 10 mediodía	Inyección de PGF-Receptoras
Día 11 am	Inyección de PGF-Donante
Día 13 am	Celo de donante y receptora
pm	Primera IA-Donante
Día 14 am	Segunda IA-Donante
Día 20	Recolección de embriones en la donante y congelado o transferencia de los embriones en las receptoras

Estudios realizados durante los últimos años han demostrado que, para obtener la mejor respuesta posible, los tratamientos superovulatorios deben iniciarse al comienzo de una onda de desarrollo folicular, antes de la selección del folículo dominante. La respuesta superovulatoria fue significativamente mayor cuando los tratamientos se iniciaron el día de comienzo de la onda folicular (ya sea de la primera o segunda onda), en comparación con los tratamientos iniciados 1 o 2 días después. Como el día en que comienza la segunda onda folicular en las vacas tiene gran variabilidad (entre el día 6 a 12 del ciclo), la probabilidad de que el comienzo del tratamiento con gonadotropinas coincida con el comienzo de la onda folicular es baja. Además, la necesidad de sincronizar el celo para comenzar los tratamientos entre el día 8 a 10 del ciclo, implica mayor trabajo del personal, más demora en la programación, y el riesgo de una dispersión de celo que imposibilite la recolección de embriones en un grupo de donantes en el mismo día. Una alternativa viable para lograr una mejor respuesta superovulatoria y obviar los problemas logísticos de programación, es controlar la dinámica folicular y comenzar los tratamientos en el momento más oportuno.

Se desarrollaron varios métodos mediante los cuales es posible controlar la dinámica folicular del bovino. La mayoría de los tratamientos estudiados han sido orientados hacia la eliminación del efecto del folículo dominante (por métodos físicos u hormonales), y de esta manera permitir el comienzo de una nueva onda folicular en un determinado período de tiempo conocido. Un método físico es la aspiración de todos los folículos mediante ultrasonografía transvaginal (también llamado ablación folicular), que resulta en el comienzo sincrónico de una nueva onda folicular 1.5 días después. El tratamiento superovulatorio consiste en la aspiración de todos los folículos presentes (cuando no sabemos en qué estadio del ciclo estral está la donante)

o la aspiración del folículo dominante (cuando las vacas están entre los días 5 a 8 del ciclo) dos días antes de la aplicación de las gonadotropinas. El resto del tratamiento es similar a los tratamientos convencionales.

Dentro de los métodos hormonales se encuentran los tratamientos con GnRH o LH, que inducen la ovulación del folículo dominante, o la aplicación de estrógenos y progestágenos, que inducen la supresión de los folículos antrales presentes. Los tratamientos con GnRH o LH no son utilizados debido a que no sincronizan eficientemente la nueva onda folicular. Por el contrario, los tratamientos con estrógenos y progestágenos son muy utilizados, ya que se demostró que su administración en cualquier momento del ciclo estral induce el crecimiento sincrónico de una nueva onda folicular, aproximadamente 4 días después. El intervalo entre el tratamiento y el inicio de la superovulación es de 4 días si utilizamos estradiol-17 β o EB combinados con una inyección IM de P4 en el momento en que se coloca el dispositivo con P4. De los estrógenos disponibles en el mercado, se obtienen mejores resultados con el EB que con el EV. Este procedimiento es simple, fácil de llevar adelante por el personal, no depende de la detección de celo, y permite producir cantidades similares o superiores de embriones de calidad que con los tratamientos tradicionales, iniciados a los 9 días del celo. Tiene la gran ventaja de que es posible elegir el momento adecuado para realizar la recolección, y de esta manera programar grupos de donantes para recolectar al mismo tiempo. Esto sin duda facilita la aplicación de la técnica de transferencia de embriones y disminuye los costos logísticos, ya que permite elegir arbitrariamente el momento de la recolección y armar circuitos, lo que disminuye los costos de movilidad de los profesionales. El tratamiento está esquematizado en el cuadro 29.3.

La asincronía de la ovulación también es uno de los problemas reportados como causa de pobre respuesta superovulatoria. Los tratamientos con análogos de la GnRH, hCG o LH en el momento del celo o de la primera IA, han demostrado ser benéficos cuando se utilizan en “vacas problema”, en las que se había observado previamente una gran cantidad de folículos anovulatorios en el momento de la recolección. También, la inducción de la ovulación con GnRH, LH o hCG puede ser benéfica en animales poco dóciles cuyo manejo durante el tratamiento superovulatorio puede ocasionar situaciones de estrés que alteren o inhiban el pico preovulatorio de LH y la ovulación. Sin embargo, la utilización masiva de estos agentes no ha resultado significativamente benéfica cuando se les emplea sistemáticamente. Recientemente se han reportado experimentos tendientes a programar y sincronizar la ovulación de novillas superestimuladas, utilizando un agonista de la GnRH llamado deslorelina. El tratamiento con este agonista de la GnRH

Cuadro 29.3. Tratamiento de superovulación con dispositivos con P4 + (EB+P4). ^a Dosis de EB y P4: vacas Holstein 2.5 mg EB y 100 mg P4; vacas productoras de carne 2.5 mg EB y 50 mg P4; vaquillonas 2.0 mg de EB y 50 mg de P4

		TRATAMIENTO
Día 0	am	Inserción del dispositivo con P4+(EB+P4 ^a IM)
Día 4	am y pm	FSH IM
Día 5	am y pm	FSH IM
Día 6	am	FSH IM+PGF IM
	pm	FSH IM + retirar el dispositivo con P4
Día 7	am	FSH IM
	pm	FSH IM y observar celo
Día 8	am	Si hubo celo en el día 7 pm IA, si no hubo celo, observar celo
	pm	IA
Día 9	am	IA
Día 15	am	Recolección de embriones

produce la saturación (“downregulation”) de los receptores de GnRH, y de esta forma las vacas tratadas tienen inhibida la secreción pulsátil y el pico preovulatorio de LH. Los resultados de experimentos preliminares demostraron que si se aplican dos implantes subcutáneos de deslorelina (liberan 50 mg/día) en novillas Brahman superestimuladas, la ovulación resulta inhibida. De esta manera se puede controlar el momento de la ovulación administrando LH exógena, que se produjo entre 24 y 40 h (media 32 h) después de la inyección de LH.

29.6.2. Técnicas de recolección

Las técnicas de recolección de embriones consisten en el lavado interno de los cuernos uterinos. Siete días después de la IA de la donante, los embriones son recolectados con la ayuda de un catéter que es introducido en el útero por la vagina y el cérvix.

Existen varias clases de catéteres para la recolección: Foley de dos vías, Foley de tres vías, el modelo Neustadt/Aisch, o modificaciones de los mismos realizadas por distintos proveedores. Los catéteres más usados son los Foley de dos y tres vías. Estos catéteres son fáciles de encontrar en el mercado y relativamente baratos.

Se pueden utilizar una gran variedad de medios de recolección, pero el más popular actualmente es el Dulbecco's Buffer Salino (PBS), debido a que tiene fosfato como buffer, y su pH cambia en forma mínima al ser expuesto a la atmósfera. Un medio de cultivo de embriones ideal será aquel que se asemeje física y químicamente al medio en que se encontraban los embriones al momento de ser recolectados.

Los embriones mamíferos están altamente adaptados al medio uterino de la madre, por lo que se hace imprescindible mantenerlos en condiciones óptimas. El pH debería mantenerse a 7.4 ± 0.5 , y la osmolaridad (concentración de sales) en 285-300 miliosmoles/l.

En síntesis, podemos decir que 7 días después de que la donante fue detectada en celo e IA, estamos en el momento óptimo para recolectar los embriones. Lo ideal es trabajar con grupos de 4 o 5 donantes por día, por la variabilidad de la respuesta superovulatoria. No es recomendable trabajar con una sola donante por día.

Los ovarios de las donantes deben ser palpados (o examinados por ultrasonografía) para estimar la respuesta al tratamiento superovulatorio, y ordenar el trabajo del día. Es mejor comenzar con las que tienen mayor respuesta para poder organizar la transferencia de los embriones frescos y el congelado, en el caso de que tengamos más embriones que receptoras.

El medio recolectado es volcado en un filtro especial con una malla de 50 μ m que permita el paso del medio y no de los embriones. Finalizado el filtrado se lava la malla del filtro con PBS utilizando una jeringa y aguja fina; el fluido es recolectado en una caja de Petri y se procede a la búsqueda de los embriones.

29.6.3. Identificación y calificación de los embriones

El diámetro de un ovocito es de aproximadamente 150-190 μ m, incluyendo el espesor de la zona pelúcida (12-15 μ m). El diámetro del ovocito permanece prácticamente sin variación desde el estado de célula, hasta el estado de blastocisto expandido.

El número de células de un embrión puede ser contado sin dificultad hasta el estado de 16 células. Hasta esta etapa los embriones se dividen geoméricamente, pero después las células se dividen asincrónicamente, y la individualización se hace dificultosa. Cuando el embrión alcanza el estado de 32 células se produce la compactación, en la cual las blastómeras pierden su forma esférica y comienzan a adherirse entre ellas. En este estado el embrión recibe el nombre de mórula.

Luego las blastómeras comienzan a diferenciarse, y dan origen a dos tipos de células, las células del trofoblasto y la masa de células interna o también conocida como el macizo celular interno (MCI). Las primeras darán origen a la placenta, y el MCI dará origen al feto. A partir de ese momento comienza a formarse una cavidad interna que se denomina blastocele, y el embrión comienza a denominarse blastocisto. Es más fácil distinguir el MCI cuando el embrión se encuentra en el estado de blastocisto, que en el estado de mórula.

La individualización de embriones de 8 a 10 días de edad es difícil, ya que el embrión eclosiona y la zona pelúcida se pierde durante estos días. Sin la zona pelúcida se puede confundir al embrión con grupos de células desprendidas del endometrio durante la recolección.

La zona pelúcida refleja la luz del microscopio, y se observa como una estructura transparente que rodea la masa celular dejando un espacio vacío denominado espacio perivitelino, que es identificable hasta el estadio de blastocisto. El color de las blastómeras es más oscuro que el debris celular, lo que facilita la búsqueda. Una buena práctica es mover el debris celular y mucus que se encuentran en la placa, ya que los embriones tienden a adherirse a ella.

29.6.4. Estadios de desarrollo del embrión

Se identifican de acuerdo con el desarrollo morfológico. En los primeros estadios se denominan según el número de células: 2 células, 6 células, 8 células, hasta 16 células, y luego reciben diferentes nombres.

MÓRULA o estadio 3: se asemeja a una mora. Las blastómeras son difíciles de distinguir unas de otras. La masa de células (embrión) ocupa casi todo el espacio perivitelino (edad estimada de 5 días).

MÓRULA COMPACTA o estadio 4: las blastómeras se han juntado formando una masa compacta. El embrión ocupa el 60-70% del espacio perivitelino.

BLASTOCISTO TEMPRANO o estadio 5: presenta una cavidad con fluido o blastocele, con la apariencia de un anillo de sello. El embrión ocupa 70-80% del espacio perivitelino. En este estado, el trofoblasto y el macizo celular interno se pueden diferenciar en forma visual (edad estimada 7 días).

BLASTOCISTO o estadio 6: presenta una diferencia clara entre el trofoblasto externo y el macizo celular interno (más oscuro). El blastocisto se identifica con claridad y el embrión ocupa casi todo el espacio perivitelino (edad estimada 7-8 días).

BLASTOCISTO EXPANDIDO o estadio 7: el diámetro aumenta 1.2 a 1.5 veces. La zona pelúcida se adelgaza aproximadamente $1/3$ con respecto al grosor original. Los embriones en este estado se pueden encontrar colapsados (edad estimada 8-9 días).

BLASTOCISTO ECLOSIONADO o estadio 8: en este estadio, los embriones pueden estar en el proceso o estar completamente fuera de la zona pelúcida. Los blastocistos eclosionados son esféricos con el blastocele bien formado o colapsado. En este estado, para un operador inexperto, la identificación del embrión resulta muy complicada (9-10 días).

29.6.5. Calificación de los embriones

Con la calificación se pretende evaluar la calidad del embrión. Se califican basándose en sus características morfológicas, que lógicamente son subjetivas y muchas veces dependen de la experiencia del operador. No hay duda de que la viabilidad de los embriones sólo puede predecirse evaluando la tasa de preñez obtenida después de ser transferidos.

Algunas de las características que se analizan para calificar a los embriones se describen a continuación:

1. Forma del embrión.
2. Color y textura de la masa celular.
3. Número y compactado de las blastómeras.
4. Diferencia de tamaño entre blastómeras.
5. Tamaño del espacio perivitelino.
6. Presencia de blastómeras sueltas, degeneradas, o detritus celular.
7. Presencia, número y tamaño de vesículas (indican degeneración).
8. Apariencia de la zona pelúcida.

De acuerdo con la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS), la clasificación y calificación de los embriones es la siguiente:

a. Estado de desarrollo

- 1 = Infertilizado.
- 2 = De 2 a 12 células.
- 3 = Mórula temprana.
- 4 = Mórula.
- 5 = Blastocisto temprano.
- 6 = Blastocisto.
- 7 = Blastocisto expandido.
- 8 = Blastocisto eclosionado.
- 9 = Blastocisto eclosionado en expansión.

b. Calidad

- 1 = Excelentes o buenos.
- 2 = Regulares.
- 3 = Malos.
- 4 = Muertos o degenerados.

Los embriones de calidad 1 resultan los mejores para congelar y son los más comercializados internacionalmente; los de calidad 2 resultan en buenos porcentajes de preñez, si se les transfiere frescos, pero los resultados de preñez son menores cuando se les congela. Los de calidad 3 no deben ser congelados, y tienen índices de preñez regulares a malos si son transferidos frescos.

La calidad de los embriones es una de las variables que condicionan los resultados. Si se tiene control sobre la condición corporal y la sincronía de la receptora, una buena calificación de los embriones nos permitirá predecir el porcentaje de preñez a obtener con la transferencia. Se pueden obtener porcentajes de preñez de entre 40 y 60% con embriones frescos y congelados.

29.7. LA TÉCNICA DE LA TRANSFERENCIA DE LOS EMBRIONES

El método no quirúrgico de transferencia de embriones es usado con mucho éxito por la mayoría de los veterinarios. Casi todos utilizan pajuelas francesas de 0.25 ml, una pipeta descartable plástica con punta metálica y dos orificios hacia los costados (IMV, Francia), y una pistola para TE (IMV, Francia). También existen variantes, como pipetas metálicas (MINITÜB, Alemania), que también poseen orificios de descarga hacia los costados.

La receptora es ubicada en un brete y se procede a la palpación para ubicar el ovario que contiene al cuerpo lúteo. En muchas ocasiones, esto se aprovecha para sacar las heces del recto, lo que facilitará la manipulación del aparato reproductor y posteriormente la colocación del embrión. Luego se administra anestesia epidural baja (xilocaína al 2%) y se limpia la región perineal y la vulva.

El embrión se coloca dentro de una pajuela esterilizada (0.25 ml) de la siguiente forma (figura 29.4):

- a. Aspiración de un pequeño volumen de medio de mantenimiento.
- b. Aspiración de una burbuja de aire.
- c. Aspiración de un pequeño volumen de medio de mantenimiento.
- d. Aspiración de una burbuja de aire.
- e. Aspiración del embrión con un pequeño volumen de medio de mantenimiento.
- f. Aspiración de otra burbuja de aire.
- g. Aspiración de medio de mantenimiento.
- h. Aspiración de otra burbuja de aire.
- i. Aspiración de medio de cultivo hasta llenar la pajuela.



Figura 29.4. Método utilizado para cargar el embrión en una pajuela para su posterior transferencia en una receptora sincronizada

La primera columna de medio humedece el algodón y el alcohol polivinílico del extremo cerrado de la pajuela; esto sella un lado y no permite la salida del embrión antes de ser transferido. La pajuela con el embrión se coloca dentro de la pistola de TE, y ésta dentro de la pipeta plástica.

Con la mano izquierda, el operador sujeta el cérvix a través de la pared del recto. La pipeta se introduce en el canal cervical, y posteriormente, con ayuda de la mano izquierda, se introduce en el cuerno ipsilateral al CL. El embrión se deposita en el tercio anterior del cuerno uterino. La pistola es removida suavemente y se retira la mano del recto.

Todo este procedimiento debe realizarse con la mayor rapidez posible. Si hay mucha demora en la operación, la posibilidad de preñez será menor, probablemente a causa de daño en la mucosa del útero y liberación de PGF por el endometrio. El exceso de manipulación del cérvix no parece ser tan negativo como el de los cuernos uterinos.

Para obtener un buen porcentaje de preñez, además de la destreza y experiencia en las técnicas descritas, es necesario que las receptoras sean animales sanos, que sus ciclos reproductivos hayan sido normales, y que estén en buen estado nutricional. Cuanto mejor esté la condición de las receptoras, mejores serán los índices de preñez. Desde un punto de vista práctico, la transferencia de embriones es fácil y apasionante. Pero para que la técnica tenga éxito, cada paso debe ser cuidadosamente realizado.

En nuestra experiencia, el porcentaje de preñez obtenido por el método no quirúrgico varía entre 40 y 65%, lo que depende de la calidad de los embriones transferidos, de la habilidad del operador para realizar todos los pasos de la técnica, del estado del CL y de la condición corporal de las receptoras. Generalmente, el porcentaje de preñez con embriones frescos es de alrededor del 60%; y de 40 a 50% con embriones congelados. Entre la detección de preñez por ultrasonografía a los 30 días y el parto, se puede producir una pérdida del 5 al 10%.

Normalmente, una vaca promedio produce por tratamiento superovulatorio entre 10 y 12 ovulaciones con 8 a 10 embriones recuperados, de los cuales 5 o 6 son transferibles, lo que finalmente resulta en 3 o 4 preñeces.

29.7.1. Sincronización de las receptoras

29.7.1.1. Métodos y características de la detección del celo

La detección del celo es uno de los puntos fundamentales en un programa de transferencia de embriones. Hay muchos factores que pueden contribuir a la no detección del celo. Muchas veces la persona encargada de la detección del celo no dedica el tiempo necesario a la observación de los animales, o combina la detección del celo con otras actividades como dar la ración. Si hay muchas vacas en celo al mismo tiempo, ellas se reúnen y forman el “grupo sexualmente activo”, que facilita la detección del celo. Sin embargo, si hay solamente un animal en celo, la actividad de monta será mucho menos frecuente. Las superficies resbalosas también afectan la actividad de monta.

Los factores que afectan una eficiente detección del celo incluyen mala interpretación de los signos de celo, mala interpretación o mal uso de los distintos “elementos” de ayuda en la detección del celo, y vacas preñadas que aparentan estar en celo y permanecen quietas al ser montadas. Los métodos para mejorar la eficiencia en la detección del celo incluyen la sincronización del celo, el mejoramiento de la observación y la dedicación de tiempo mínimo adecuado en la tarea, utilización de dispositivos que ayudan a la detección, y el control de los animales para predecir cuándo ocurrirá el próximo celo.

29.7.1.2. Celos naturales o sincronización del celo

Las receptoras pueden ser seleccionadas mediante un programa de detección del celo natural o del celo inducido cuando se utilizan tratamientos de sincronización. Independientemente del tratamiento de sincronización utilizado, es importante tener buena precisión en la detección del celo. Las receptoras sincronizadas con PGF deben ser tratadas entre 12 y 24 h antes que las donantes, porque el celo inducido por la PGF ocurrirá a las 60-72 h en las receptoras, pero entre 36-48 h después de la PGF en las donantes superovuladas. Las tasas de preñez no parecen ser diferentes entre receptoras con celo natural y receptoras con celo inducido con PGF. Si se decide utilizar PGF, el tratamiento más usual es el de dos dosis de PGF con 11 a 14 días de intervalo y detección por 5-7 días después de la segunda aplicación de PGF, cuando trabajamos con novillas o vacas secas.

No obstante, cualquiera de los protocolos de sincronización de celo que han sido descritos para IA pueden ser utilizados con éxito para TE, cuando la condición corporal de las receptoras es superior a 2.5 (escala 1-5) y se encuentran ganando peso. Pero ninguno de estos tratamientos nos

independiza de tener que controlar el celo, y éste sigue siendo el factor principal del bajo porcentaje de utilización de receptoras en programas extensivos de TE.

En un trabajo realizado por nuestro grupo en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, utilizando un dispositivo intravaginal de progesterona por 8 días, con aplicación de prostaglandina al retirar el implante en vacas tipo Nelore, el porcentaje de utilización no superó el 50%. Si consideramos que el porcentaje de preñez esperado para este tipo de receptoras con embriones congelados es del 40 %, el total de receptoras preñadas/tratadas no supera el 20%. En otro trabajo en el cual se sincronizaron receptoras Nelore con PGF en Bolivia y Brasil, el porcentaje de utilización de receptoras fue del 28.9%, con un porcentaje final de preñez (receptoras preñadas/tratadas) del 12.9%. Esta realidad tiene un impacto alto en el costo final de la preñez lograda por TE.

29.7.1.3. Sincronización de la ovulación para la transferencia de embriones a tiempo fijo

Uno de nuestros temas de investigación es la simplificación y mejora del índice de utilización de receptoras. Para ello, durante los últimos años estudiamos protocolos que prescindieran de la observación del celo, similares a los desarrollados para IATF. Con este objetivo, realizamos un primer experimento con 200 vacas cruza Brahman, donde comparamos un protocolo de IATF (dispositivo con P4 durante 7 días con PGF al retirar el implante y EB 24 h después) con una clásica sincronización con dos dosis de PGF cada 14 días. En el grupo sin detección consideramos que el celo se produciría entre las 36 y 48 h luego de la remoción del dispositivo, y la ovulación 30 h después. Por lo tanto los embriones fueron transferidos 7 días después del momento estimado del celo, previo control del CL por ultrasonografía. No hubo diferencia en los índices de preñez entre las receptoras sincronizadas con PGF y transferidas 7 días después del celo, con las sincronizadas con dispositivos con P4 y transferidas 7 días después del momento estimado (no observado) del celo. Esto nos demostró que podíamos independizarnos de la observación del celo sin afectar los índices de preñez.

Después de este trabajo inicial, realizamos una serie de experimentos para confirmar los resultados de la experiencia anterior y evaluar distintas alternativas de protocolos de sincronización de receptoras sin detección de celo. El protocolo que utilizamos en ese momento (figura 29.5) consiste en la inserción de un dispositivo intravaginal con P4 y la administración de 2 mg de EB y 50 mg de P4 IM en el día 0. En el día 5 (un día después del comienzo estimado de la onda folicular), todas las receptoras reciben una dosis luteolítica

de PGF y 400 UI de eCG IM. Se retiran los dispositivos en el día 8, y se inyecta 1 mg de EB IM en el día 9. No se realiza detección de celo, y se determina arbitrariamente al día 10 como el día del celo y al día 11 como el día de la ovulación. En el día 17 se examinan todas las receptoras por medio de ultrasonografía con el objetivo de determinar el tamaño del CL, y las vacas con un CL ≥ 12 mm de diámetro son seleccionadas y reciben embriones por transferencia no quirúrgica en el cuerno ipsilateral al CL. Tomando datos comerciales de receptoras sincronizadas con este esquema durante principios del 2002, sobre 546 receptoras tratadas, 468 (85.7%) recibieron un embrión, y 255 (46.7%) resultaron preñadas, lo que demuestra que estos tratamientos son eficaces para sincronizar la ovulación en receptoras de embriones, y obtener tasas adecuadas de preñez cuando se transfieren embriones a tiempo fijo, sin detección de celos.

A pesar de que en los últimos años muchos datos bibliográficos informan de tasas de preñez satisfactorias en receptoras sincronizadas con progestágenos, otros reportes indican tasas de preñez reducidas con dicho tratamiento. Las razones de esta discrepancia pueden deberse a que algunos trabajos fueron realizados con vacas cíclicas y otros en rebaños con vacas cíclicas y en anestro. Se debe recordar que las hormonas esteroides exógenas pueden inducir celo y hasta ovulación en vacas en anestro posparto y novillas prepúberes que al no estar ciclando normalmente no son aptas para recibir un embrión. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en seleccionar únicamente receptoras que se encuentren ciclando normalmente (con un CL) antes de comenzar el tratamiento de sincronización.

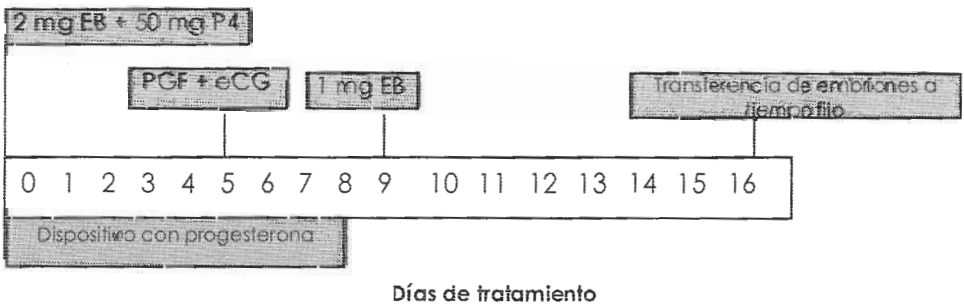


Figura 29.5. Protocolo de tratamiento en programas de transferencia de embriones a tiempo fijo en vacas. El tratamiento consiste en la inserción de un dispositivo con progesterona y la administración de benzoato de estradiol (EB) IM con progesterona (P4) en el día 0, PGF y 400 UI de eCG en el día 5, remoción del dispositivo en el día 8, y EB en el día 9. No se detecta celo y la transferencia se realiza en el día 17; las receptoras con un CL > 12 mm reciben un embrión

29.7.1.4. Resincronización de las receptoras

También se han utilizado los dispositivos con P4 para resincronizar receptoras que previamente recibieron un embrión y que no fueron palpadas para detectar preñez. Teóricamente, las receptoras que no presentan celo al retirar el dispositivo estarán preñadas, mientras que las que manifiestan celo deben ser examinadas por ultrasonografía para confirmar que efectivamente están vacías, ya que algunas receptoras preñadas pueden mostrar signos de celo o ser mal observadas durante la detección. Hay distintos protocolos de resincronización de receptoras que colocan el dispositivo previamente utilizado en la sincronización inicial en el momento de la transferencia y lo sacan 14 días después, a diferencia de los utilizados en resincronización de vacas IATF, que reinsertan el dispositivo entre los días 13 y 21 del ciclo estral de las receptoras. Es decir, pueden diseñarse protocolos para resincronizar receptoras de embriones sin correr el riesgo de perder la preñez. No obstante, ello exige perder algo de tiempo en el diseño y poseer conocimientos actualizados de la fisiología reproductiva bovina. Estos tratamientos son muy útiles en programas de TE permanentes.

29.8. MANEJO DE LAS RECEPTORAS

29.8.1. Nutrición e intervalo postparto

Dos factores de manejo que determinan el éxito o fracaso de un programa de sincronización del celo son la nutrición y el intervalo posparto. La iniciación de los ciclos estrales después del parto se demora si la vaca pierde peso durante la preñez. Cuando las vacas son alimentadas adecuadamente durante la preñez, pero no ganan peso en el periodo parto-servicio, presentarán celo, pero tendrán tasas reducidas de concepción y de preñez en caso de recibir un embrión viable por transferencia. En un estudio a campo, las receptoras fueron clasificadas según su condición corporal (CC) en una escala

Cuadro 29.4. Efecto de la condición corporal de la receptora sobre el porcentaje de preñez después de la transferencia no quirúrgica

CONDICIÓN CORPORAL	RECEPTORAS TRANSFERIDAS	
	N	PORCENTAJE DE PREÑEZ
≤1	230	44 ^a
2	460	53 ^a
3	633	55 ^a
≥4	175	47 ^a

^{ab}Los porcentajes de preñez difieren ($P < 0.05$).

de 1 (delgada) a 5 (gorda) al momento de la transferencia de embriones. Las tasas de preñez fueron significativamente mayores en las receptoras cuya CC fue de 3 y 4, que en aquellas con CC 1, 2 o 5 (cuadro 29.4).

Por lo tanto, es importante evaluar el estado nutricional de las receptoras antes de incorporarlas a un programa de transferencia de embriones. Otro aspecto importante de la nutrición está constituido por el fósforo y los minerales traza.

Para ser incorporadas a un programa de sincronización, las vacas deben tener al menos 50 días de paridas, o más de 50 días si se trata de vacas de primera parición. Como la pubertad es principalmente una función del peso corporal, las novillas deberían haber alcanzado los dos tercios de su peso adulto esperado a los 14 meses de edad. Tanto las novillas vírgenes como las vacas, deben haber presentado tres ciclos normales. Todas las receptoras deben ser examinadas antes de la sincronización, para constatar la normalidad del tracto reproductivo.

29.8.2. Sincronía donante-receptora o estadio del embrión y receptora

La obtención de tasas aceptables de preñez por transferencia de embriones depende parcialmente de que el celo de receptoras y donantes esté dentro de una sincronía aceptable, cuyo rango puede variar si los embriones son frescos o congelados. Recientemente se analizaron datos de transferencia de embriones congelados en etilenglicol 1.5 M en receptoras cruza cebú. Los índices de preñez en receptoras que estaban entre los días 7 y 7.5 del ciclo (0+12 h con respecto a la donante) no fueron diferentes que los de las que estaban en los días 6.5 y 8 del ciclo, pero fueron mayores que los de las receptoras entre los días 5.5; 6 y 8.5 del ciclo. Esto indica que lo ideal con embriones congelados es no tener una asincronía mayor a 24 h. En cambio con embriones frescos se puede llegar a transferir embriones en receptoras que están entre el día 5 y 9 del ciclo. Sin embargo hay una pequeña disminución de preñez cuando nos alejamos de las 36 h de asincronía en relación con la donante.

El estadio del ciclo de la receptora y el porcentaje de preñez también están relacionados con la calidad embrionaria. Varios experimentos han demostrado que embriones de calidad excelente o buena soportan más el asincronismo que los embriones regulares o malos. Asimismo, se obtuvieron los mayores porcentajes de preñez con embriones regulares o malos en receptoras que entraron en celo después que la donante. Esto puede estar relacionado con el hecho de que en los embriones de calidad pobre, el desarrollo embrionario retardado es frecuente, por lo que el ambiente uterino

proporcionado por una receptora en un estadio más temprano del ciclo resulta más propicio para este tipo de embrión.

29.8.3. Consideraciones prácticas

- Para poder recolectar embriones en forma eficiente, el veterinario deberá adiestrarse en todos los pasos de la técnica y mostrar la destreza adquirida recolectando por lo menos 100 vacas por año.
- Hay que recordar que siempre debemos trabajar con las vacas y no contra las vacas, acompañar los movimientos, aflojar cuando pujen y trabajar cuando aflojen.
- El primer obstáculo que debemos superar es el cérvix. Esto requiere mucha práctica, pero también mucha paciencia.
- Si tenemos dificultades en el cateterismo cervical, es preferible usar una sonda de menor diámetro que un dilatador de cuello. Hay sondas de diámetro muy pequeño que permiten la cateterización de novillas chicas.
- El segundo obstáculo es la introducción de la sonda en el cuerno deseado. Siempre es preferible abordar primero el que nos resulte más difícil. Si trabajamos con la mano izquierda dentro del recto, será seguramente el izquierdo.
- Cuando creemos que estamos en el lugar correcto, debemos inflar el balón un poco para evaluar si estamos en el lugar adecuado y para fijar la sonda. Luego inflamamos un poco más para comenzar con el lavado. Si el balón ha quedado muy atrás en el cuerno, tenemos que desinflar el balón y tratar de avanzar un poco más.
- Si hemos logrado colocar bien la sonda, el lavado no presentará dificultades; tiene que ser progresivo, aumentando el volumen de medio a medida que el útero se distiende.
- Terminado el primer cuerno, debemos pasar la sonda al otro y ésta es una operación delicada, que debe hacerse con mucha higiene si se utiliza la misma sonda, o bien usar otra estéril.
- Cuando hemos concluido la recolección, debemos llevar el filtro de embriones al laboratorio, vaciar el líquido y lavar la malla del filtro con presión, para que se despeguen embriones que eventualmente pueden quedar adheridos al fondo.
- Debemos ser muy pacientes en la búsqueda de los embriones y recorrer toda la cápsula de Petri con la lupa por lo menos dos veces después de haber encontrado el último embrión.

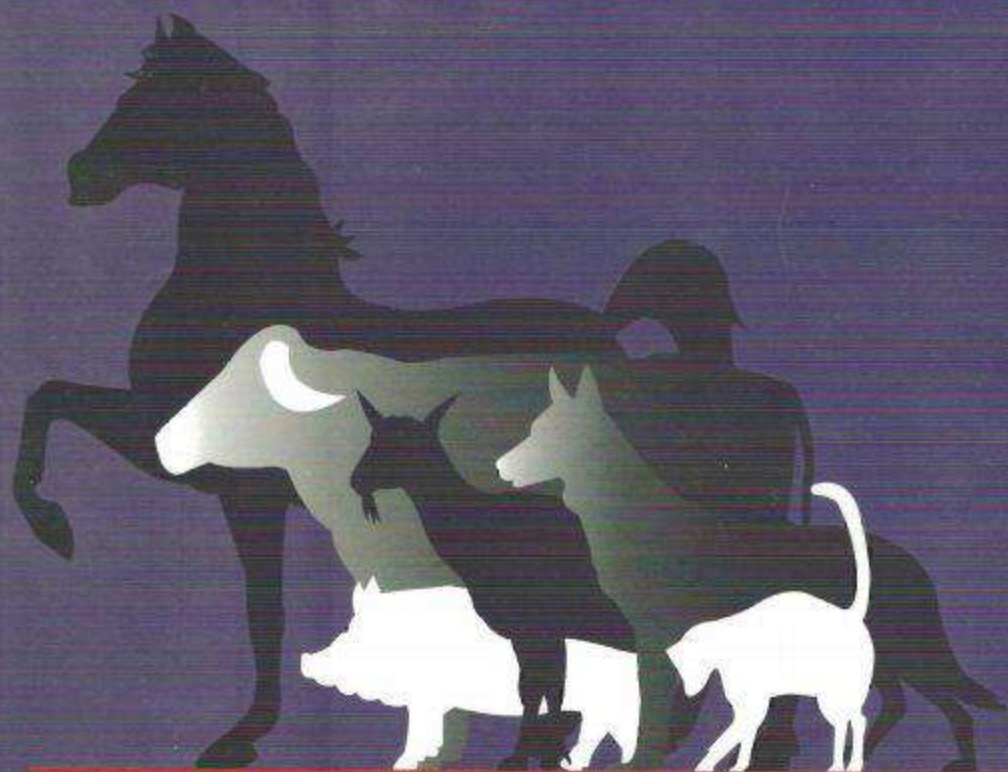
- Hay que lavar diez veces todos los embriones y luego calificarlos.
- Es importante determinar en forma precisa el estadio y grado para congelarlos o para transferirlos, de acuerdo con la sincronización de las receptoras y la calidad del cuerpo lúteo. A las receptoras de día 6 les pondremos las mórulas; a las de día 7, los blastocistos tempranos; y a las de día 8, los blastocistos expandidos.
- La selección de las receptoras es un punto importante. El estado corporal va a condicionar fuertemente los resultados.
- Podremos sincronizar las receptoras con PGF y detectar celo, o realizar un esquema de sincronización con progestágenos y EB para evitar la detección del celo.
- También es posible resincronizar el celo de las receptoras, pero en este caso es importante hacer ecografía antes de transferir los embriones para asegurarnos de que la receptora esté vacía.
- Recuerden que la transferencia de embriones es una sumatoria de detalles; si fallamos en uno, fallaremos en todo.

29.9. LITERATURA RECOMENDADA

- Adams, G.P., Nasser, L.F., Bó, G.A., García, A., Del Campo, M.R., Mapletoft, R.J. 1994. *Superstimulatory response of ovarian follicles of Wave 1 versus Wave 2 in heifers*. Theriogenology 42:1103.
- Baracaldo, M.I., Martínez, M., Adams, G.P., Mapletoft, R.J. 2000. *Superovulatory response following transvaginal follicle ablation in cattle*. Theriogenology 53:1239.
- Barros, C.M., Moreira, M.B.P., Figueiredo, R.A., Teixeira, A.B., Trinca, L.A. 2000. *Synchronization of ovulation in beef cows (Bos indicus) using GnRH, PGF2alpha and estradiol benzoate*. Theriogenology 53:1121.
- Bergfelt, D.R., Bó, G.A., Mapletoft, R.J., Adams, G.P. 1997. *Superovulatory response following ablation-induced follicular wave emergence in cattle*. Anim Reprod Sci 49:1.
- Bó, G.A., Pierson, R.A., Mapletoft, R.J. 1991. *The effect of estradiol valerate on follicular dynamics and superovulatory response in cows with Syncro-Mate-B implants*. Theriogenology 36:169.
- Bó, G.A., Adams, G.P., Pierson, R.A., Mapletoft, R.J. 1995. *Exogenous control of follicular development in cattle*. Theriogenology 43:31.

Reproducción de Animales Domésticos

Compiladores:
Carlos Galina • Javier Valencia



LIMUSA

3a. edición