



LIBRO

FISIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN II

*LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
4TO CUATRIMESTRE*

Marco Estratégico de Referencia

ANTECEDENTES HISTORICOS

Nuestra Universidad tiene sus antecedentes de formación en el año de 1979 con el inicio de actividades de la normal de educadoras “Edgar Robledo Santiago”, que en su momento marcó un nuevo rumbo para la educación de Comitán y del estado de Chiapas. Nuestra escuela fue fundada por el Profesor de Primaria Manuel Albores Salazar con la idea de traer Educación a Comitán, ya que esto representaba una forma de apoyar a muchas familias de la región para que siguieran estudiando.

En el año 1984 inicia actividades el CBTiS Moctezuma Ilhuicamina, que fue el primer bachillerato tecnológico particular del estado de Chiapas, manteniendo con esto la visión en grande de traer Educación a nuestro municipio, esta institución fue creada para que la gente que trabajaba por la mañana tuviera la opción de estudiar por las tarde.

La Maestra Martha Ruth Alcázar Mellanes es la madre de los tres integrantes de la familia Albores Alcázar que se fueron integrando poco a poco a la escuela formada por su padre, el Profesor Manuel Albores Salazar; Víctor Manuel Albores Alcázar en septiembre de 1996 como chofer de transporte escolar, Karla Fabiola Albores Alcázar se integró como Profesora en 1998, Martha Patricia Albores Alcázar en el departamento de finanzas en 1999.

En el año 2002, Víctor Manuel Albores Alcázar formó el Grupo Educativo Albores Alcázar S.C. para darle un nuevo rumbo y sentido empresarial al negocio familiar y en el año 2004 funda la Universidad Del Sureste.

La formación de nuestra Universidad se da principalmente porque en Comitán y en toda la región no existía una verdadera oferta Educativa, por lo que se veía urgente la creación de una institución de Educación superior, pero que estuviera a la altura de las exigencias de los jóvenes que tenían intención de seguir estudiando o de los profesionistas para seguir preparándose a través de estudios de posgrado.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la carretera Comitán – Tzimol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el Corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y Educativos de los diferentes Campus, Sedes y Centros de Enlace Educativo, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca a nivel nacional e internacional.

Nuestra Universidad inició sus actividades el 18 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en Puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a nuestras propias instalaciones en la

carretera Comitán – Tzitol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y educativos de los diferentes campus, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca.

MISIÓN

Satisfacer la necesidad de Educación que promueva el espíritu emprendedor, aplicando altos estándares de calidad Académica, que propicien el desarrollo de nuestros alumnos, Profesores, colaboradores y la sociedad, a través de la incorporación de tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

VISIÓN

Ser la mejor oferta académica en cada región de influencia, y a través de nuestra Plataforma Virtual tener una cobertura Global, con un crecimiento sostenible y las ofertas académicas innovadoras con pertinencia para la sociedad.

VALORES

- Disciplina
- Honestidad
- Equidad
- Libertad

ESCUDO



El escudo de la UDS, está constituido por tres líneas curvas que nacen de izquierda a derecha formando los escalones al éxito. En la parte superior está situado un cuadro motivo de la abstracción de la forma de un libro abierto.

ESLOGAN

“Mi Universidad”

ALBORES



Es nuestra mascota, un Jaguar. Su piel es negra y se distingue por ser líder, trabaja en equipo y obtiene lo que desea. El ímpetu, extremo valor y fortaleza son los rasgos que distinguen.

FISIOLOGIA DE LA REPRODUCCIÓN II

Objetivo de la materia: Adquirir conocimientos sólidos que ayuden a optimizar la función reproductiva de los animales domésticos y silvestres. Esto implica una amplia gama de actividades y conocimientos que van desde la fisiología reproductiva básica hasta la aplicación de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia reproductiva y la salud de los animales.

UNIDAD I. TRANSPORTE DE GAMETOS, FERTILIZACIÓN Y SEGMENTACIÓN

- I.1. Transporte del ovocito
- I.2. Transporte espermático.
- I.3. Capacitación espermática y reacción acrosomal.
- I.4. Sitio y características de la eyaculación en las diferentes especies domesticas
- I.5. Alteraciones del proceso de la fecundación
- I.6. Aspectos morfológicos y fisiológicos de las diferentes formas de placentación.
- I.7 Tipos de Úteros
- I.8. Cambios En El Útero Durante El Ciclo Estral
- I.9. Desarrollo embrionario
- I.10. Fertilizaciones atípicas
- I.11. Gemelos
- I.12. Mortalidad embrionaria, principales causas e importancia dentro del proceso productivo.

UNIDAD II. EL DESARROLLO FETAL Y EL PARTO

- 2.1. Segmentación y desarrollo embrionario temprano
- 2.2. Implantación
- 2.3. Reconocimiento materno de la gestación
- 2.4. Placentación
- 2.5. Nutrición fetal

- 2.6. Placenta y transporte de nutrientes
- 2.7. Etapas del parto
- 2.8. Endocrinología del parto.
- 2.9. Características del parto en las diferentes especies
- 2.10. Distocia.
- 2.11. Maniobras obstétricas

UNIDAD III. EL PUERPERIO Y LACTACIÓN

- 3.1. Puerperio
- 3.2 Etapas del puerperio
- 3.3 Retención de la placenta
- 3.4 La Madre y su cuidado después del Parto
- 3.5. Cuidados del Recién Nacido Durante la Primera Fases después del Parto
- 3.6. Involución uterina
- 3.7 Infecciones uterinas
- 3.8. Vacas sin servicio en el día 60 posparto
- 3.9. La lactación
- 3.10. Control de lactogénesis
- 3.11. Metabolismo energético en la vaca lactante
- 3.12. Mantenimiento de la producción de leche
- 3.13. Enfermedades de la glándula mamaria
- 3.14 Parámetros reproductivos
- 3.15. Otros conceptos asociados a la eficiencia reproductiva

UNIDAD IV. EXAMEN DE LA CAPACIDAD REPRODUCTIVA DEL SEMENTAL E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

- 4.1 Examen físico general
- 4.2. Examen de los órganos genitales internos
- 4.3. Evaluación del semen

- 4.4. Pruebas de libido y capacidad de servicio
- 4.5. Métodos de obtención de semen
- 4.6. Evaluación de semen, Dilución, Criopreservación y Descongelamiento
- 4.7. Técnica de inseminación artificial
- 4.8. Nutrición y alimentación del semental
- 4.9 Superovulación y transferencia de embriones
- 4.10 Criopreservación de embriones
- 4.11. El descongelamiento

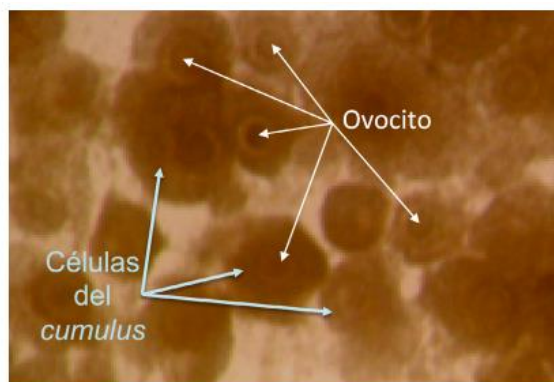
UNIDAD I. TRANSPORTE DE GAMETOS, FERTILIZACIÓN Y SEGMENTACIÓN.

I.1. Transporte del ovocito

La fertilización o fecundación es el proceso por el cual los gametos masculino y femenino se fusionan para crear a un nuevo individuo. Su éxito depende de la culminación adecuada de los diferentes procesos que deben sufrir los gametos durante su maduración y recorrido; del transporte oportuno de los mismos en el tracto reproductivo de la hembra, así como de una serie de adaptaciones de los órganos genitales internos de la madre. La segmentación se refiere a las primeras divisiones celulares del embrión.

Transporte del Ovocito.

El ovocito que es liberado en la ovulación, y que se encuentra cubierto por las células del cúmulo (imagen 9.1), es capturado por la fimbria del infundíbulo al adherirse a los cilios. Este proceso es altamente efectivo, incluso en especies polítopas, por ejemplo en la cerda, donde los oviductos capturan entre el 95 y el 100 % de los ovocitos que son ovulados. Las contracciones de las capas musculares del oviducto y el movimiento intenso de los cilios de la mucosa ocasionan que las secreciones fluyan en dirección al útero, transportando así al complejo cúmulo-ovocito. Este transporte es relativamente rápido hasta llegar a la unión del ampulla con el istmo, que es considerado el sitio de la fertilización, a partir del cual se vuelve lento. Debido a que la hembra se encuentra en estro, el proceso está bajo el control endocrino del estradiol. En las hembras domésticas, a diferencia del humano, el transporte a lo largo del oviducto es sumamente eficiente pues los embriones pasan al útero sin dificultad, de manera que las preñeces ectópicas (tubáricas o en cavidad) son casi inexistentes. La yegua con frecuencia retiene por largo tiempo a los ovocitos no fertilizados en el oviducto, probablemente debido a que no secretan sustancias –como la prostaglandina E– que pudieran favorecer su paso, como se propone que ocurre con los embriones. La imagen 9.2 muestra un ovocito con las estructuras que lo componen.



Cambios Ováricos Durante El Ciclo Estral

En el ovario se pueden encontrar formaciones de tipo vesicular de dimensiones variables desde el tamaño de una cabeza de alfiler hasta 1-2 cm., estas formaciones microscópicas que representan los folículos ováricos más desarrollados. El desarrollo de estos folículos pasa por varias fases, folículo primario, folículo secundario, folículo terciario y folículo de GRAFF (dentro del cual se encuentra el óvulo maduro). El folículo en maduración, que funciona como órgano endocrino, provoca cambios típicos en los órganos tubulares y en la libido sexual. Después de la ruptura del folículo maduro o folículo de Graff ocurre la ovulación, se observa en el ovario una pequeña excavación, la que se rellena durante algunas horas después de la ovulación y al segundo día es difícil localizar.

Durante los 3-4 días posteriores a la ovulación la cavidad folicular se rellena completamente por las células luteínicas, el polo del ovario donde maduró el folículo se redondea, obtiene una consistencia más frágil y aumentando también de tamaño la zona correspondiente al ovario. Durante los días que siguen el cuerpo amarillo comienza a hacerse protuberante y sobrepasa la superficie ovárica (prolapso luteínico); es posible realizar la palpación del cuerpo amarillo con seguridad después de 5-6 días del ciclo cuando el nuevo cuerpo lúteo está formando su elevación típica. Cuando por cualquier causa no se realiza la gestación, el cuerpo amarillo (periódico o cíclico), después de alcanzar su desarrollo máximo, disminuye su función a los 16 días del ciclo aminora también su tamaño y pierde su fragilidad y consistencia fina.

1.2. Transporte espermático.

Para que los espermatozoides sean capaces de fertilizar al ovocito, deberán sufrir una serie de cambios bioquímicos y morfológicos a su paso por el aparato reproductor, tanto masculino como femenino.

Una vez producidos en la pared del túbulo seminífero, los espermatozoides son liberados hacia la luz tubular y transportados pasivamente hacia una estructura ramificada conocida como la red testicular (rete testis). Desde aquí son conducidos hasta el epidídimo pasando a través de 10 a 20 conductos eferentes localizados en el polo superior del testículo. El epidídimo se divide en tres secciones denominadas cabeza, cuerpo y cola; se constituye por un solo conducto muy largo y tortuoso que se continúa con el conducto

deferente. Al final desemboca en las ampollas seminales, el ducto eyaculatorio y la uretra. Las funciones del epidídimo son las de maduración, transporte y almacenamiento de los espermatozoides. El transporte a través del epidídimo es lento, de aproximadamente 10 días en el toro, y sigue siendo pasivo. Los espermatozoides tomados de la cabeza del epidídimo son todavía inmaduros e incapaces de fertilizar, mientras que los almacenados en la cola son completamente maduros. Durante el tránsito por el epidídimo los espermatozoides adquieren motilidad y el potencial para fertilizar, el acrosoma es remodelado y la gota citoplasmática migra por el flagelo y es liberada. Cuando un macho eyacula muy frecuentemente es posible observar espermatozoides con gota citoplasmática en el semen, ya que no hay tiempo suficiente para que completen su maduración.

Los espermatozoides son expulsados fuera del organismo durante la cópula, la masturbación o en emisiones espontáneas. En la eyaculación, los espermatozoides que se encuentran suspendidos en los fluidos del testículo y del epidídimo, se mezclan al llegar a la uretra con las secreciones de las glándulas accesorias para formar el semen. Estas secreciones, denominadas plasma seminal, proporcionan sustancias para mantener el metabolismo energético de las células espermáticas, e integran a sus membranas elementos que impiden una capacitación prematura.

Durante la cópula, el semen se deposita en la vagina o en el útero, variando entre las especies (cuadro 9.1). En la monta natural generalmente el servicio ocurre en el momento propicio, ya que está definido por la fase del ciclo estral en la que la hembra es receptiva al macho. Sin embargo, en la inseminación artificial, es el hombre quien deberá determinar el momento óptimo, y para ello es importante considerar la vida media de los gametos, la cual es muy corta en el caso de los ovocitos (cuadro 9.1).

Independientemente del sitio en el que los espermatozoides sean depositados en el aparato reproductor femenino, serán expuestos a las secreciones genitales y sufrirán una serie de cambios en su trayecto hasta el sitio de fertilización antes de penetrar al ovocito.

CUADRO 9.1

Sitio de depósito del semen, volumen del eyaculado y vida media de los gametos.

ESPECIE	SITIO DE DEPÓSITO	VOLUMEN (ML)	VELOCIDAD DE EYACULACIÓN	VIDA MEDIA OVOCITO (H)	VIDA MEDIA ESPERMATOZOIDE
Ovinos	intravaginal	1	1 - 2 seg	16 - 24	30 - 48 h
Bovinos	intravaginal	2	1 - 3 seg	8	30 - 48 h
Caninos	intravaginal	2 - 30 (10 promedio)	6 - 45 min	48 - 72	9 - 11 d
Equinos	intrauterina	50 - 200	20 - 60 seg	6 - 8	72 - 120 h
Porcinos	intrauterina	200 - 400	5 - 20 min	8 - 10	24 - 48 h
Humano	intravaginal	3			5 - 6 d

La vida fértil del óvulo es muy corta, de ahí que el momento del servicio es de gran importancia para obtener altos índices de fertilización.

En las especies en las que el semen se deposita en la vagina craneal, una parte del mismo penetra a través del cérvix, mientras que otra es eliminada del aparato genital femenino,

en poco tiempo, por flujo retrógrado. El medio vaginal no es adecuado e inmoviliza a los espermatozoides en breve tiempo, por lo que deberán entrar al útero donde el ambiente es más propicio.

El transporte espermático en la hembra es el resultado de la alta contractibilidad, el movimiento ciliar y el fluido del aparato genital durante el estro, el cual está bajo control endocrino y del sistema nervioso. Este transporte es favorecido por las características especiales del moco estral, cuyas moléculas forman una especie de canales que facilitan el paso de los espermatozoides. Por el contrario, durante la fase lútea su transporte se ve dificultado. Además del medio vaginal, el cérvix también actúa como barrera para limitar el paso de los espermatozoides, disminuyendo así la posibilidad de poliespermia. Funciona, asimismo, como un filtro que selecciona a los espermatozoides aptos de los que no lo son ya que sólo los primeros poseen una motilidad vigorosa que les permite atravesar por el moco altamente hidratado.

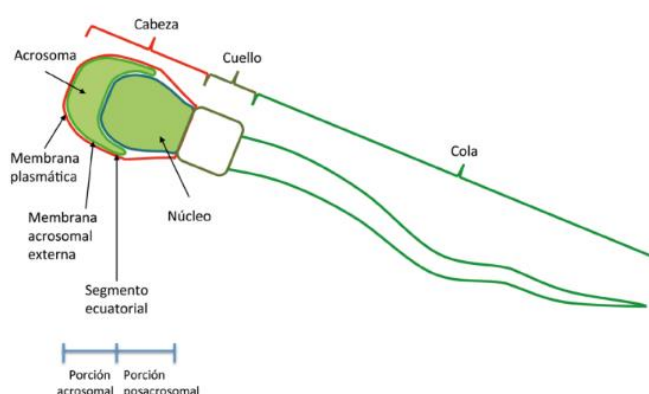
En el bovino se considera al cérvix como un reservorio espermático. Cuando han franqueado el cérvix, los espermatozoides siguen su desplazamiento tanto por movimiento propio como por las contracciones uterinas y tubáricas. En las especies en las que el sitio de depósito del semen es intrauterino, la principal barrera que enfrentan los espermatozoides es la unión útero-tubárica. La unión entre el útero y el oviducto –istmo del oviducto– funge como el reservorio funcional de los espermatozoides en las especies domésticas. Pocos minutos después de la cópula, es posible encontrar a algunos espermatozoides en el oviducto, lo que se conoce como fase de transporte rápido. Sin embargo, estos espermatozoides no son los que participan en el proceso de fertilización y se ha visto que incluso pueden presentar anomalías. Existe un segundo tipo de transporte denominado fase sostenida, el cual consiste en la migración prolongada de los espermatozoides hacia las partes más craneales del aparato genital femenino, que conducen a la colonización del reservorio funcional y en la liberación paulatina de los espermatozoides desde los reservorios espermáticos, incluyendo a este último. El reservorio del istmo provee a los espermatozoides de un ambiente propicio, al protegerlos de la fagocitosis y prolongar su viabilidad. Aquí, los espermatozoides permanecen adheridos a la superficie de las células ciliadas del epitelio hasta que termina su capacitación, después de la cual se liberan al modificar su patrón de motilidad flagelar, fenómeno conocido como hiperomotilidad, y migran en oleadas hacia el sitio de la fertilización. De los millones de espermatozoides del eyaculado, sólo unos miles alcanzarán el istmo del oviducto y un número sumamente pequeño se encontrará en las inmediaciones del ovocito en el momento de la fertilización.

1.3. Capacitación espermática y reacción acrosomal.

La capacitación es un proceso gradual y esencial para la fertilización. Los espermatozoides deben pasar cierto tiempo de “incubación” en el aparato genital femenino y sufrir una serie de cambios antes de ser capaces de fecundar al ovocito. La capacitación de los espermatozoides inicia al entrar en contacto con las secreciones del aparato genital

femenino y termina en el istmo del oviducto. Durante ese recorrido la superficie de la cabeza del espermatozoide se modifica ya que algunas moléculas como el colesterol son removidas de la membrana plasmática, aumentando su fluidez y alterando sus propiedades bioquímicas. Entre otras cosas, esta reorganización de los lípidos facilita la entrada de calcio extracelular por los canales iónicos y ocasiona que la membrana se desestabilice, haciéndola más fusogénica. También se eliminan otros factores –conocidos genéricamente como factores decapacitantes– que exponen receptores membranales indispensables para que se lleve a cabo la unión entre el espermatozoide y el ovocito durante la fertilización. Los espermatozoides capacitados muestran un patrón de hipermotilidad y una mayor actividad metabólica, características que deben obtener para ser capaces de penetrar las capas del ovocito. La capacitación es necesaria para que ocurra la reacción acrosomal. La reacción acrosomal o acrosómica (RA) es un fenómeno de exocitosis que se desencadena por la unión entre proteínas y receptores localizados en la membrana del espermatozoide y en la zona pelúcida del ovocito (imagen 9.3).

Involucra la fusión de la membrana plasmática del espermatozoide con la membrana externa de su acrosoma; se forman así pequeñas vesículas, cuyo contenido de enzimas hidrolíticas, como la hialuronidasa y la acrosina, es liberado hacia el exterior, facilitando la penetración de la zona pelúcida. La adhesión del espermatozoide a la zona pelúcida es específica de especie y depende de glicoproteínas presentes en la membrana de los ovocitos maduros; la cabeza del espermatozoide se une a dichas glicoproteínas mediante receptores específicos y atraviesa en dirección oblicua la zona pelúcida hasta llegar al espacio perivitelino. En los mamíferos, particularmente en los roedores y en los humanos, algunas de estas glicoproteínas se conocen como ZPI, ZP2 y ZP3. Se piensa que la unión de la membrana espermática a ésta última es lo que desencadena la reacción acrosomal. Después, las vellosidades del ovocito entran en contacto con el espermatozoide y la membrana presente en la sección ecuatorial de la cabeza del espermatozoide, que tiene proteínas fusogénicas específicas, se une a la membrana plasmática del ovocito, fusionándose y permitiendo la entrada del núcleo espermático al citoplasma (imagen 9.4).



Activación del ovocito y formación de pronúcleos

En la mayoría de las hembras domésticas, con excepción de la perra, el ovocito se encuentra suspendido en la metafase (II) de la segunda meiosis al momento de la ovulación. La entrada de la PLC ζ del espermatozoide al citoplasma del ovocito, y la consecuente liberación de Ca⁺⁺, ocasiona que este último se active, termine la segunda división meiótica y expulse el segundo cuerpo polar. Más adelante, el material nuclear del ovocito se reorganiza para formar el pronúcleo femenino. Mientras tanto, la membrana nuclear del espermatozoide se disuelve, la cromatina se descondensa, se sustituyen las protaminas por histonas, y se forma una nueva membrana nuclear, dando lugar al pronúcleo masculino. Una vez formados los pronúcleos femenino y masculino, migran al centro del ovocito, se acercan, sus membranas se dispersan y se asocian los cromosomas paternos y maternos, con lo cual se recupera la condición diploide y se da origen al cigoto (imagen 9.5).

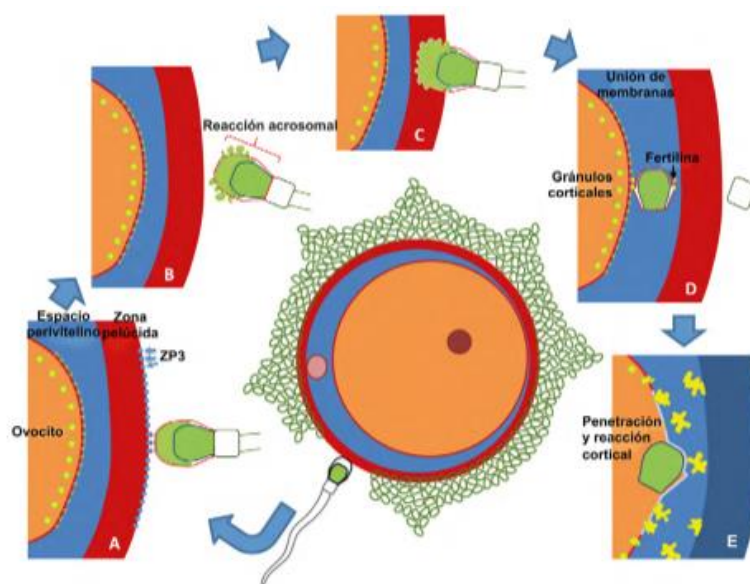


IMAGEN 9.4: sucesos que ocurren durante la fertilización. **A**, después de pasar a través de las células del cumulus, el espermatozoide entra en contacto con la zona pelúcida, donde receptores de la membrana plasmática reconocen a las proteínas de la zona pelúcida; **B**, se desencadena, entonces, la reacción acrosomal; **C**, para que el espermatozoide penetre la zona pelúcida. **D**, al atravesar la zona pelúcida y entrar al espacio perivitelino, la cabeza del espermatozoide se pone en contacto con la membrana vitelina; ambas membranas se fusionan gracias al reconocimiento de proteínas fusogénicas que están en el segmento ecuatorial. **E**, ocurre entonces que el núcleo del espermatozoide penetra al citoplasma del ovocito; una de las consecuencias de la fusión de la membrana de la cabeza del espermatozoide con el ovocito es la reacción cortical, en la que los gránulos corticales del ovocito liberan su contenido hacia el espacio perivitelino, lo que deriva en la alteración de la estructura de la zona pelúcida y de la membrana vitelina para bloquear la poliespermia (Elaborada por el M.V.Z. José Antonio Solano y la Dra. Lucía Rangel).

1.4 Sitio y características de la eyaculación en las diferentes especies domesticas

La Eyaculación es un reflejo por el que se contraen y vacian el epidídimo, la uretra y las glándulas accesorias del macho. Puede darse por estimulaciones del glande o por vía mecánica.

Tipos de eyaculado:

- Eyaculado monofasico: En una sola fase sale todo al exterior, se da en bovinos, caprino, ovino y humanos.

- Eyaculado trifasico: Ocurre en tres fases:

- Primera fase: El plasma seminal pobre en espermatozoides cambia el pH de la uretra.

○ Segunda fase: Es la fase más rica en espermatozoides.

○ Tercera fase: Producida por las glándulas vesiculares, es pobre en espermatozoides y presenta la tapioca que es un gel liberado por las glándulas accesorias que se coloca en el cuello del útero y evita el retorno de los espermatozoides. Se da en equinos, suinos y perros.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla el tipo de eyaculado, duración, sitio de depósito, volumen de eyaculado, concentración y motilidad por especie.

	Toro	Carnero	Verraco	Caballo	Hombre	Perro
Tipo de eyaculado	Mono-fásica	Mono-fásica	Trifásica	Trifásica	Mono-fásica	Trifásica
Duración	1 segundo	< a 1 segundo	5 - 30 minutos	30 - 60 seg	4 segundos	22 minutos
Sitio de depósito	Contra cuello uterino.	Contra cuello uterino.	Luz de cuello uterino.	Intra-uterina	Contra cuello uterino.	
			Intra-uterina.			
Volumen del eyaculado (ml)	5 - 15 ml	0,8 - 1,2 ml	150 - 200 ml	40 - 100 ml	2 - 6 ml	3 - 30 ml
Concentración (millones / ml)	800 - 1200	2000 - 3000	200 - 300	200 - 500	50 - 150	200 - 600
Motilidad (%)	75	95	70	70	65	60

1.5. Alteraciones del proceso de la fecundación

Implantación del cigoto

Algunos autores consideran que la implantación se completa cuando el embrión se ha fijado al útero, mientras que otros prefieren señalarla en el momento en que se establece un contacto funcional. La implantación en los animales domésticos es superficial en cambio los blastocistos de roedores y primates penetran la mucosa uterina y fagocitan el epitelio del lumen uterino El cigoto atraviesa la etapa de segmentación para dar origen al blastocisto.

Se pueden diferenciar dos periodos según el momento en el que ocurre la implantación: el periodo pre-implantatorio y peri-implantatorio.

En el pre-implantatorio se secreta prolactina y lactógeno placentario, el trofoblasto cambia de epitelio simple cúbico a epitelio cúbico biseriado. El periodo peri-implantatorio depende del grado de invasión del trofoblasto al endometrio (de acuerdo a cada especie) y culmina en la formación definitiva de la placenta.

Cuando hay alteraciones podemos observar varios tipos de anomalías de la fecundación como consecuencia de las perturbaciones genéticas o adquiridas provocadas por acciones mecánicas térmicas, químicas, tóxicas u hormonales o como influencias hereditarias. De los factores perturbadores de la fecundación se reconocen como los más importantes: la maduración incompleta del óvulo, el óvulo viejo, la polispermia, las anomalías de la cabeza espermática o del núcleo ovular el desequilibrio del ácido desoxirribonucleico, etc.

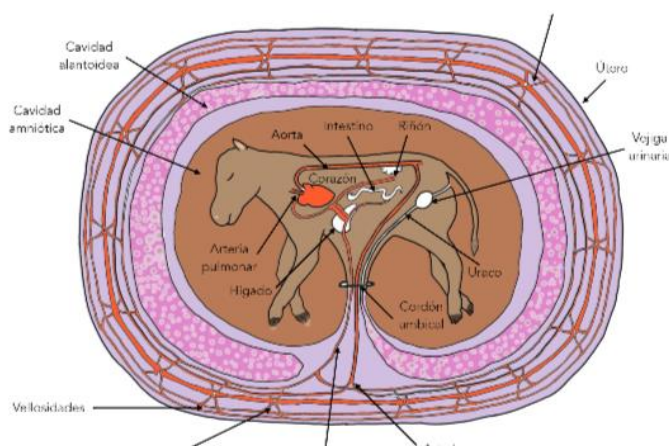
1.6. Aspectos morfológicos y fisiológicos de las diferentes formas de placentación.

Una vez que el embrión se ha implantado se forma un órgano transitorio para facilitar el intercambio metabólico entre la madre y el embrión, éste se conoce como placenta, está compuesta por una parte fetal derivada del corion y un componente materno derivado de algunas modificaciones del endometrio. Con el tiempo, la placenta presenta funciones endocrinológicas que serán importantes para el mantenimiento de la gestación y la inducción al parto. Antes de la implantación, el embrión forma tres membranas conocidas como “membranas extraembrionarias” que son: corion, amnios y alantoides. La formación de estas membranas es un paso necesario para que el embrión pueda implantarse. El trofoblasto embrionario, junto con el endodermo y el mesodermo dan lugar al corion y al amnios. El alantoides se forma de una evaginación del intestino primitivo el cual, a su vez, se origina del tubo endodérmico del saco vitelino.

Los desechos del embrión son colectados por el alantoides, el cual se expande conjuntamente con el crecimiento del embrión y eventualmente llega a tener contacto con el corion formando una nueva membrana con características propias llamada alantocorion, éste es la contribución del embrión para la formación de la placenta y proporciona la superficie de unión con el endometrio en la implantación (figura 5).

Tipos de placentas.

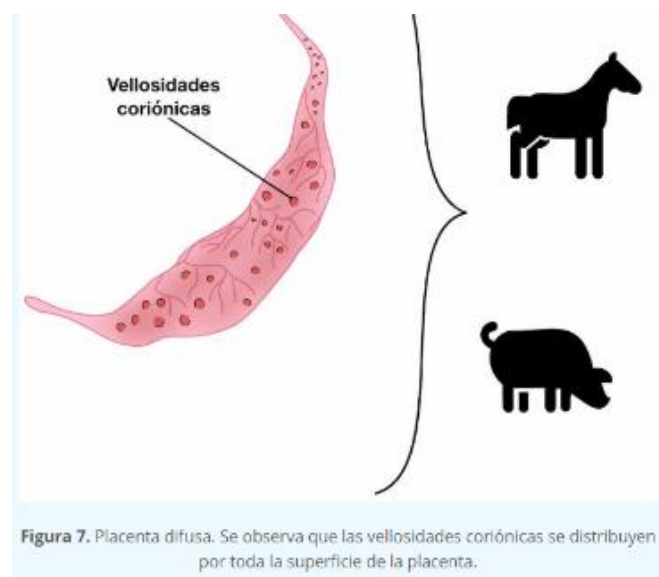
Los mamíferos presentan diversos tipos de placentas, que varían según la cantidad y características de las capas celulares que se interponen entre la sangre de la madre y la del embrión.



Clasificación morfológica (Strahl).

Se establece en función del modo de distribución de las vellosidades del corion. Esta distribución no es siempre uniforme, por lo que distinguimos: partes con vellosidades (corion frondoso o veloso) y partes sin vellosidades (corion liso).

Placenta difusa (es completa en équidos e incompleta en suidos). Todo o casi todo el corion se halla provisto de vellosidades, y todo, o casi todo el corion participa en la unión materno-fetal.



Placenta múltiple o cotiledonaria: Vellosidades agrupadas en pequeñas zonas del corion, constituyendo cotiledones. Típica de los rumiantes (bóvidos, óvidos y cápridos).

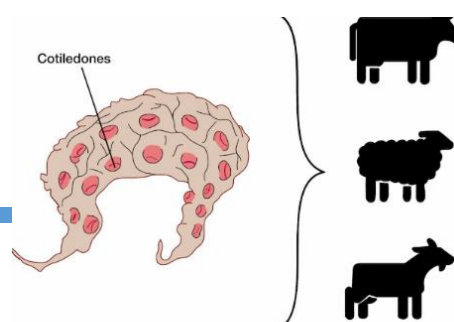
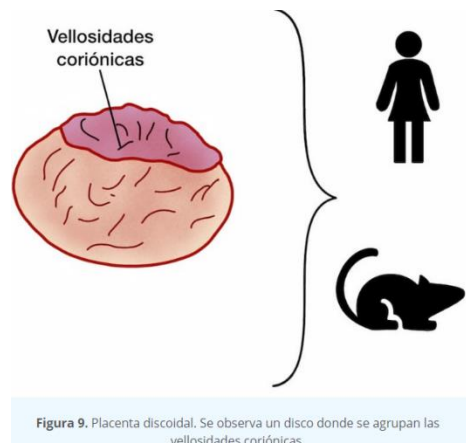
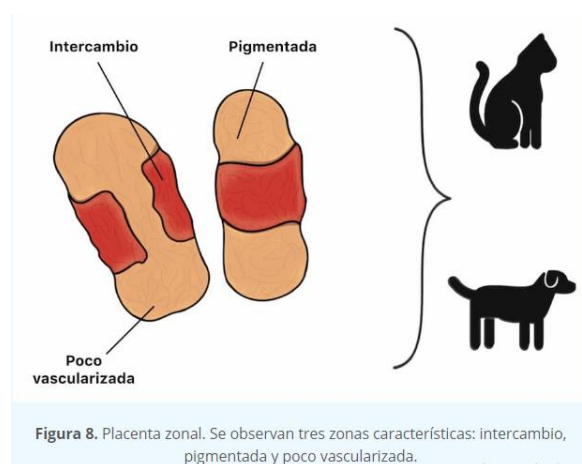


Figura 10. Placenta cotiledonaria. Se observan los placentomas formados por los cotiledones maternos y fetales distribuidos en la superficie de la placenta.

Placenta zonal: Vellosidades coriales distribuidas en una zona, a modo de cinturón o faja. Propia de los carnívoros (perro y gato).



Placenta discoidal: Vellosidades agrupadas en un área circular u ovalada. Propia de primates (mujer), roedores y lagomorfos (conejo).



I.7 Tipos de Úteros

- I. Útero doble (Duplex): Se encuentra en los roedores y se caracteriza por su división completa. El útero tiene 2 cuernos y 2 cuellos los cuales desembocan aisladamente en la única cavidad vaginal. En este caso el desarrollo de los conductos de Müller corren completamente aislados.
- II. Útero dividido: Se encuentra en los carnívoros y en las puercas y se caracteriza por la formación de un solo cuerpo uterino muy corto (1cm-2cm) y un cuello

común. Casi toda la capacidad uterina bicornual está representada por los cuernos largos y divididos.

- III. Útero bicornual: Se encuentra en los rumiantes y equinos se unen los segmentos uterinos de los conductos de Müller en la zona más craneal y se caracteriza por tener 2 cuernos, un solo cuerpo y un cuello.

En los rumiantes la cavidad uterina se encuentra dividida por un tabique, septo, interno como conti nuación de las paredes medias de los cuernos con la reducción del propio cuerpo uterino y la prolongación de los cuernos.

En los equinos queda la cavidad uterina sin tabique interno y los cuernos tienen casi el mismo largo que el cuerpo. Desde este punto de vista, se divide el útero bicornual en 2 tipos:

a) Útero bicornual subsepto (tabicado) en los rumiantes y

b) Útero bicornual no subsepto (no tabicado) en los equinos.

- II. Útero Simple: Se encuentra en la mujer y los primates se caracteriza porque los segmentos uterinos de los conductos de Müller se unan en su totalidad el útero se desarrolla en forma de pera casi sin cuerno. En este útero simple se encuentran separados solamente los oviductos y el útero forma una sola cavidad uterina.

1.8. Cambios En El Útero Durante El Ciclo Estral

Cervix

Se pueden observar contracciones, edematización, congestión y fluye secreción del orificio cervical hacia la zona craneal de la vagina. La presencia y cantidad del mucus estral desempeña una función muy importante en el éxito y en el momento óptimo para realizar la inseminación artificial. El momento óptimo de la inseminación es cuando se observa una pequeña condensación y opalescencia del mucus estral y cuando el canal cervical tiene tendencia a estrecharse.

Tipos De Ciclos Estrales

- Según el carácter y repetición de los ciclos estrales durante el año, se dividen los mamíferos domésticos en varios grupos como son:
- Los policíclicos o poliestricos (vaca, puerca) en los cuales los ciclos estrales se repiten durante todo el año.
- Los policíclicos estacionales (yegua, ovejas y cabras) en las que aparecen los ciclos solamente durante cierto período del año.

- Los diestricos (perra, gata) con dos y algunas veces hasta cuatro ciclos estrales al año.
- Los inducidos o potenciales (coneja) que dependen del coito.

1.9. Desarrollo embrionario

Pocas horas después de la fertilización se produce la primera división del cigoto en dos, luego en cuatro, ocho, 16 y 32 células, denominadas blastómeros. Estas divisiones mitóticas se conocen como divisiones de segmentación (imagen 10.1), ya que se realizan sin aumento del citoplasma, de manera que con cada división los blastómeros se van haciendo más pequeños. A partir de las 16 células el embrión se llama mórula, y se aprecia como una masa celular compacta. La compactación se debe a la formación de proteínas de unión entre los blastómeros. El embrión acumula líquido en su interior, formando una cavidad denominada blastocele. Este proceso se conoce como blastulación; el embrión ahora se nombra blastocisto. En esta etapa es posible diferenciar dos poblaciones de células embrionarias: la masa celular interna, embrioblasto o botón embrionario –que dará origen al embrión–, y la masa celular externa, células superficiales o trofoblasto, del cual se originarán la mayoría de las membranas fetales. Al continuar la multiplicación de las células y la acumulación de líquido, el blastocisto aumenta de tamaño, convirtiéndose en blastocisto expandido.

La zona pelúcida se va adelgazando y, finalmente, el embrión eclosiona; es decir, es liberado de la zona pelúcida.

1.10. Fertilizaciones atípicas

Poliespermia

Es la penetración del óvulo por dos o más espermatozoides. Esta condición es letal en los mamíferos, ya que el número cromosómico de ese cigoto es mayor de $2n$.

El envejecimiento del óvulo de la cerda, como consecuencia del servicio tardío, favorece la presentación de poliespermia. En aves, sin embargo, la penetración de más de un espermatozoide es normal, aunque solamente se formará un pronúcleo masculino, el cual se fusionará con el femenino.

Ginogénesis

Es el desarrollo de un embrión a partir de un óvulo normal fecundado por un espermatozoide; pero sin la fusión de los cromosomas masculinos con los de la hembra.

La función del espermatozoide, en este caso, es la de activar al ovocito para que inicie su desarrollo, pero no hay fusión con el núcleo del espermatozoide. Ocurre en plantas, en nematodos y en algunos peces, por ejemplo en el Molly amazónico, especie en la que los ovocitos de las hembras son activados por machos de otra especie relacionada.

Partenogénesis

Consiste en el desarrollo del embrión sin la participación del espermatozoide. Ocurre en algunos insectos, el zángano por ejemplo es partenogénico. También puede presentarse en pavos, cuyos embriones son machos y generalmente mueren antes de eclosionar.

1.11. Gemelos

Existen dos tipos de gemelos: Idénticos o monocigóticos y no idénticos o dicigóticos. Idénticos o monocigóticos. Se originan del mismo cigoto, por lo que tienen el mismo genotipo y un fenotipo similar, y por lo tanto son del mismo sexo. En el laboratorio es posible generarlos al seccionar una mórula en dos o más partes, por medio de un micromanipulador. Debido a que tienen el mismo genotipo, los productos resultantes son clones.

No idénticos o dicigóticos

Proviene de la fertilización de dos óvulos distintos por dos espermatozoides diferentes. Tienen, por lo tanto, diferente genotipo y fenotipo, e incluso pueden ser de diferente sexo.

1.12. Mortalidad embrionaria, principales causas e importancia dentro del proceso productivo.

Una consideración importante para establecer causas y efectos de mortalidad embrionaria es determinar si la muerte embrionaria es anterior o posterior a la regresión del cuerpo lúteo. Si tiene lugar la fertilización, el desarrollo del embrión impide la aparición del celo ya que inhibe la producción y liberación de la luteolisina endógena. Si el embrión muere antes de que la madre "reconozca" la presencia de la gestación se conoce como Muerte Embrionaria Temprana. Es la más común en todas las especies. En bovinos, la muerte embrionaria temprana se da antes del día 13-15, en este caso la vaca volverá al ciclo estral con un intervalo entre celos prácticamente normal (21 a 24 días), si el embrión muere luego de éste momento (después del reconocimiento materno de la gestación) el intervalo entre celos se alargará más allá de las cifras generalmente aceptadas (18 a 24 días) y se considera Muerte Embrionaria Tardía.

La mayoría de las fallas reproductivas ocurren durante el periodo embrionario de la gestación (<45 d), en los primeros días después de la fecundación y durante el proceso de implantación tanto en bovinos de carne como de leche.

Las muertes entre los 8 y 16 días representan un 70 a 80 % del total de pérdidas y sin efecto sobre la duración del ciclo estral. La muerte embrionaria tardía, hasta el día 42 (comienzo organogénesis) representa un 10% ± 5% con alargamiento del ciclo estral (Thatcher et al., 1994; Vanroose et al., 2000; Sreenan et al., 2001).

Conforme con Wathes, 1992, en bovinos de carne y en hembras de leche no lactantes, se observa un elevado número de embriones viables (78% de promedio entre los días 3 y 16 después de la inseminación), contrastando con estudios sobre el desarrollo embrionario

inicial en vacas lecheras lactantes, que demostraron índices muy bajos de sobrevivencia embrionaria entre los días 3 y 14, especialmente en las de alta producción. Existen pocos estudios que evalúen la mortalidad embrionaria tardía o fetal temprana en bovinos de carne, se describen incidencias bajas (10%) de pérdida, presentados en Tabla 3.

Tabla 3

Categoría)	Días de gestación	Muerte embr./fetal; % (n/n
Vacas de carne	25 a 45	6,5% (9/138)
Vacas de carne	45 a 65	1,6% (2/129)
Vaquillonas de carne	30-35 a 60-75	4,0% (17/420)
Vacas de carne lactantes	29-33 a 54-61	10,8% (24/223)

Adaptada de Sartori, 2004.

Principales causas de mortalidad embrionaria

Las causas de muerte embrionaria, tanto temprana como tardía, son muy diversas y pueden deberse a factores de la madre, del ambiente o del embrión.

Factores maternos

- a) Edad avanzada de la hembra. Las hembras muy jóvenes o mayores suelen tener problemas tanto para lograr la fertilización del óvulo como para mantener vivo al embrión. Estudios sobre el ambiente uterino han demostrado variaciones en algunos componentes de los fluidos del endometrio, con variaciones en la cantidad de proteína, sodio, fósforo, glucosa, calcio, potasio y magnesio. Además la producción hormonal disminuye en las hembras de mayor edad.
- b) Poca producción de progesterona por el cuerpo lúteo. Los niveles de progesterona en los días subsiguientes a la ovulación son críticos para el desarrollo del embrión y para su tránsito a través del oviducto hacia el cuerno uterino. El desarrollo del embrión se ve comprometido cuando hay concentraciones bajas de progesterona, de tal forma que, aunque se logre el reconocimiento de la gestación, la preñez no logrará mantenerse mucho tiempo.
- c) Inmunosupresión materna. Es conocida la existencia durante la preñez de una inmunosupresión inespecífica (linfocitos T y B) que hacen a la vaca preñada más vulnerable a los agentes infecciosos. Los linfocitos T son los más afectados durante la gestación con un incremento importante de los linfocitos T supresores, que controlan a los linfocitos T helper, por lo tanto disminuye la respuesta a los antígenos que dependen de ellos como los virus y las bacterias asociados a células. Esta inmunosupresión es generada por la alta concentración de progesterona normal en la etapa gestacional y agravada en el período peripartal. Por lo tanto, durante la gestación y el parto se producen cambios hormonales y por consiguiente inmunes, que favorecen la presentación de agentes infecciosos. Podemos mencionar los siguientes puntos:

1. La progesterona inhibe la proliferación de algunas subclases de linfocitos T a través de otros inmunomoduladores.
2. Las vacas tratadas con progesterona son más susceptibles a infecciones.
3. La proteína uterina post fertilización bloquea la proliferación de linfocitos T in vitro y de anticuerpos in vivo.
4. La interfase madre/concepto es rica en moléculas que inhiben la respuesta inmune lo cual demuestra que la placenta es un ambiente inmunosupresor.

Otros agentes como el virus de la diarrea vírica bovina (BVDV), endotoxinas bacterianas, y déficit de Cu, Zn, Se, y vitamina E, pueden provocar una supresión de la inmunidad materna y hacerla más susceptible a infecciones durante la preñez.

Factores embrionarios

a) Poliespermia.

Si el óvulo es fecundado por más de un espermatozoide, el cigoto formado muere en las primeras horas o días.

b) Genética.

La frecuencia y repetición de las pérdidas embrionarias están en parte condicionadas por el genotipo del padre y de la madre. Las anomalías estructurales genéticas son variadas, pues a lo largo de la división celular la cadena de genes constitutivos de cromosomas puede ser rota accidentalmente y reconstituida con errores.

La más común de estas anomalías se denomina traslocación, donde la soldadura de fragmentos de un cromosoma entero se realiza sobre otro.

Esto provoca alta incidencia de mortalidad ovular temprana. Se comprobó que las hijas de toros con traslocación retornan más veces a servicio que las hijas de toros normales.

También, hay que considerar que las pérdidas embrionarias son un medio biológico de eliminar a los individuos con cromosomas defectuosos en el primer estadio de su existencia.

c) Consanguinidad.

Casi el 30 % de las muertes embrionarias se encuentran en líneas consanguíneas, mientras menos del 15 % en no consanguíneos. Esto es importante, pues en nuestro país se están cometiendo en algunos rodeos errores genéticos graves al realizar consanguinidad descontrolada y ya existen líneas de animales que son altamente repetidoras con ciclos sexuales

alterados por elevada mortalidad embrionaria. Se pueden incrementar las probabilidades de homocigosis para determinados genes recesivos que pueden ser letales para el embrión.

Factores ambientales

a) Nutrición.

La disponibilidad de nutrientes en la dieta puede influir en la muerte particularmente durante la implantación. La mala condición corporal de la madre disminuye las tasas de fecundación y eleva la mortalidad embrionaria en todas las especies, mientras que la elevada ingestión calórica aumenta la tasa de ovulación aumentando también la mortalidad embrionaria.

b) Estrés calórico.

Las altas temperaturas ambientales pueden disminuir la fertilidad, con una alta incidencia de muertes embrionarias. Cuando se conjugan altas temperaturas con una alta humedad relativa, se aumentan dichas probabilidades.

c) Factores químicos.

Se han identificado algunos que incrementan la probabilidad de muerte embrionaria: nitratos, micotoxinas, exceso de nitrógeno ureico en sangre, endotoxemias (pueden causar liberación de prostaglandinas y luteólisis), tratamientos contraindicados (prostaglandinas).

d) Procedimientos deficientes de inseminación artificial.

Aplicación incorrecta del semen, tiempo incorrecto de la inseminación con respecto a la ovulación: como se explicó en el caso de gametos envejecidos, si no se insemina en el momento adecuado, puede ocurrir que para cuando los gametos se encuentren hayan perdido su capacidad fecundante.

e) Infecciosos.

Principales patógenos de la reproducción: *Tritrichomonas foetus*, *Campylobacter fetus fetus*, *Campylobacter fetus venerealis*, *Trueperella pyogenes*, *Histophilus sommi*, *Mycoplasma bovis*, *M. bovis genitalium*, *Ureaplasma diversum*, virus de la rinotraqueítis infecciosa bovina (IBRV-1) y de la diarrea vírica bovina (BVDV 1 y 2).

UNIDAD II. EL DESARROLLO FETAL Y EL PARTO

2.1. Segmentación y desarrollo embrionario temprano

El desarrollo embrionario temprano, conocido como periodo de preimplantación, es esencial; incluye procesos de división y diferenciación celular que se llevan a cabo al principio con una elevada sincronización para garantizar el correcto desarrollo del individuo dentro del útero. Esta fase involucra el paso del cigoto (unicelular), a embrión (multicelular) y hasta concepto (cuando se distingue al embrión con sus membranas extraembrionarias).

El desarrollo temprano es la etapa más dinámica y vulnerable en la formación de un individuo. Investigaciones recientes han demostrado que alteraciones en esta etapa pueden modificar características productivas o reproductivas durante la vida adulta. Es por ello que es necesario conocer las etapas fisiológicamente normales involucradas en este proceso (imagen 10.1). En fases más tardías de desarrollo, el embrión se convertirá en feto con todos los sistemas y tejidos diferenciados observados en un animal adulto.

Después de la fertilización (unidad 9), el cigoto resultante es capaz de dar origen a un nuevo organismo completo, por lo que se le considera como una célula totipotencial. El desarrollo embrionario comienza y se logra gracias a una serie de divisiones mitóticas conocidas como segmentación (cleavage, en inglés). La primera división mitótica da origen a dos células hijas idénticas (imagen 10.1), y ocurre alrededor de las 20 a las 30 h después de la fertilización, con divisiones subsecuentes cada 12 a 24 h, dependiendo de la especie. Las células resultantes de estas divisiones se conocen como blastómeros. La orientación de la división inicial que da origen a los dos primeros blastómeros, parece estar guiada por la posición de los cuerpos polares.

Las divisiones iniciales de las células embrionarias son sincrónicas, sin embargo, conforme avanza el desarrollo se vuelven asincrónicas. Así pues, la división mitótica inicial da origen a un embrión de dos células (dos blastómeros), la segunda a un embrión de cuatro células, la tercera a uno de ocho células y la cuarta a uno de 16 células. Estas divisiones se llevan a cabo sin el aumento del volumen del citoplasma, con el objeto de que se restablezca una proporción celular más acorde a la de las células somáticas, ya que el ovocito es la célula más grande del organismo (un ovocito mide entre 100 y 150 μm del ovocito, mientras que una célula somática mide de 10 a 20 μm); asimismo porque el embrión aún está contenido dentro de la zona pelúcida (imagen 10.1).

Uno de los puntos críticos durante el desarrollo embrionario temprano es la activación del genoma embrionario. Durante las etapas iniciales después de la fertilización, las proteínas y ARNs “heredados” del ovocito son responsables del metabolismo y desarrollo inicial del embrión.

No es sino hasta la etapa de cuatro (ratones) u ocho blastómeros (especies domésticas y humano) en la que el embrión comienza a sintetizar su propio ARNm y las proteínas específicas que requiere para controlar su crecimiento y metabolismo. La calidad del ovocito que es fertilizado, en consecuencia, tiene un gran impacto sobre la sobrevivencia inicial del embrión.

Cuando el embrión alcanza un promedio de 16 a 32 células se le conoce como mórula (del latín *morus*: mora), y en esta etapa el embrión empieza a compactarse, lo cual ocurre porque comienzan a establecerse distintas uniones celulares, según la relación espacial entre los blastómeros.

Las células centrales desarrollan entre ellas uniones de hendidura, conocidas también como uniones GAP, mientras que las que se encuentran en la periferia establecen uniones estrechas, dando origen a dos subpoblaciones distintivas de blastómeros: periféricos y centrales. Cabe mencionar que los blastómeros que componen a la mórula aún son células capaces de dar origen a un nuevo individuo completo, es decir, son totipotenciales.

Conforme la mórula continúa dividiéndose y creciendo, las células localizadas a la periferia comienzan a liberar sodio hacia los espacios intercelulares, creando una diferencia en la presión osmótica que es seguida por la entrada de agua al embrión. El líquido se acumula, y provoca la separación de las células, distinguiendo aún más las dos subpoblaciones celulares mencionadas (periféricas y centrales) y se forma una cavidad llena de líquido. A esta cavidad se le conoce como blastocele; con su formación el embrión entra en etapa de blastocisto (imagen 10.1).

De la subpoblación celular de la periferia se origina al trofoblasto (trofotodermo), que formará a la mayoría de las membranas extraembrionarias, y de la sub-población central se establece la masa celular interna o embrioblasto, que dará origen al feto. Al continuar la multiplicación y crecimiento del trofoblasto conforme se desarrolla el blastocisto, las células de la masa interna se diferencian nuevamente en dos segmentos distintos: el endodermo primitivo —o hipoblasto— y el epiblasto (imagen 10.1), donde se originan todos los tejidos del organismo y las células germinales primordiales (unidad 2).

Una vez formado, el epiblasto continúa dividiéndose y diferenciándose para dar origen a las tres placas o capas germinales conocidas como endodermo, mesodermo y ectodermo. A este proceso se le conoce como gastrulación, y durante él se diferencian en el embrión las porciones craneales, caudales, dorsales y ventrales, proceso que se conoce como polaridad del embrión, el cual guía el desarrollo de los diversos tejidos y órganos del individuo. Conforme el blastocisto continúa creciendo y diferenciándose, se va acumulando más líquido en el blastocele, con lo que la presión interna incrementa y la zona pelúcida comienza a adelgazarse. Este hecho, junto a la acción de las proteasas producidas por el embrión, lleva a la ruptura de la zona pelúcida y a la salida del blastocisto —eclosión—, por lo que una vez liberado, al embrión se le conoce como blastocisto eclosionado.

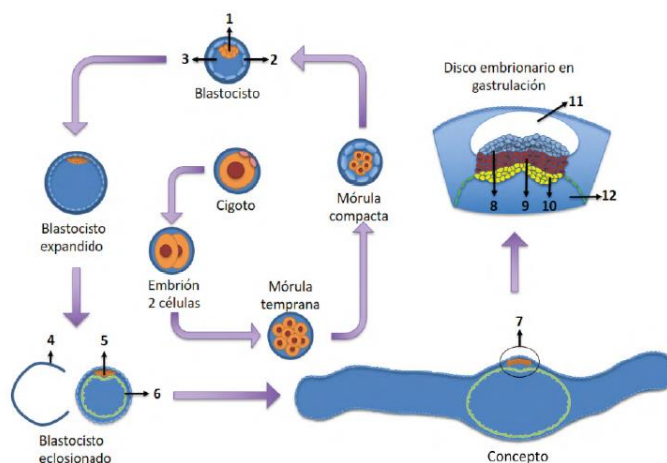


IMAGEN 10.1: etapas del desarrollo embrionario temprano, elongación y gastrulación en rumiantes. 1, masa celular interna; 2, trofoblasto; 3, blastocelo; 4, zona pelúcida; 5, epiblasto; 6, hipoblasto; 7, disco embrionario; 8, ectodermo; 9, mesodermo; 10, endodermo; 11, amnios; 12, saco vitelino. (Elaborada por el M.V.Z. José Antonio Solano).

2.2. Implantación

El trofoblasto embrionario entra entonces en contacto directo con el endometrio, lo cual se considera como el inicio de la implantación. El trofoblasto embrionario –también conocido como trofotodermo– da origen a la mayoría de las membranas fetales o placenta fetal. Al proceso en el cual el trofoblasto se une al endometrio materno se le conoce como implantación; para ello ocurre una serie de procesos altamente sincronizados que involucra secreciones tanto embrionarias como maternas, e interacciones físicas, durante un periodo limitado conocido como ventana de receptividad. La implantación es considerada un proceso gradual que genéricamente se divide en cinco fases, algunas de las cuales pueden superponerse parcialmente y diferir según la especie:

- Eclosión del blastocisto de la zona pelúcida
- Precontacto y orientación del blastocisto.

Es el contacto inicial entre las células del trofoblasto y el epitelio endometrial, así como la orientación de la masa celular interna y el trofotodermo, misma que adquiere especial importancia en especies cuya implantación es invasiva, como en los roedores y en los primates.

- Aposición.

Se refiere al posicionamiento del blastocisto en una zona determinada y de una forma específica en el útero. Comienza la interdigitación de las vellosidades coriónicas con el epitelio luminal del endometrio.

- Adhesión.

Requiere de sistemas de señalización que involucran glicoproteínas de adhesión, como las integrinas, las selectinas y las galactinas, con sus ligandos, tanto en el epitelio luminal como en el trofoectodermo.

- Invasión endometrial.

Este término se relaciona al tipo de placentación y es pertinente sobre todo para aquellas especies en las que hay una fusión entre células del trofoblasto y del

epitelio del endometrio durante la formación de la placenta, o en las que las células trofoblásticas penetran las capas endometriales e incluso modifican a las células del endometrio que las rodean.

Un hecho necesario en la implantación es la pérdida de receptores para la progesterona en el epitelio luminal del endometrio, y una presensibilización del mismo por los estrógenos. A pesar de parecer un efecto contradictorio, este requisito permite la desaparición de una capa de mucina y de otros compuestos proteicos, que recubren al endometrio y que actúan como una película antiadherente que inicialmente no permite la aposición y la adhesión del embrión.

La desaparición de esta capa ocurre durante la ventana de receptividad, ya sea en toda la superficie del endometrio (rumiantes, cerdos y roedores) o en las zonas específicas donde se implantará el blastocisto (humano y conejo). Por esta razón, la interacción física entre el embrión y el endometrio juega un papel importante en la implantación.

Una vez desaparecida la capa de glicoproteínas, es posible la aposición del trofodermo embrionario y de las células epiteliales del endometrio, con lo que se inicia la implantación propiamente dicha a través de la intercomunicación entre ambos tejidos. La implantación se puede considerar como la fijación del embrión al útero desde el punto de vista físico y funcional. Sin embargo, como se trata de un proceso progresivo y gradual, en el que algunas de sus fases pueden superponerse de modo parcial, no existe un consenso acerca del lapso en el que se inicia y se concluye. En la borrega, por ejemplo, se estima que ocurre entre el día 10 y el 22, mientras que en la vaca entre el día 11 y el 40 posovulación. En las especies polílicas, los blastocistos se distribuyen a lo largo de los cuernos uterinos como resultado de movimientos musculares de la pared uterina, al parecer regulados por prostaglandinas y por otros factores secretados por el útero. Por ejemplo en cerdas, los blastocistos se mueven libremente entre los cuernos, y la distribución de los embriones al implantarse es más uniforme de lo que podría esperarse si ocurriera meramente al azar.

2.3. Reconocimiento materno de la gestación

El establecimiento de la gestación en los mamíferos domésticos requiere de la presencia de un CL funcional que produzca progesterona en cantidades adecuadas para mantener el desarrollo embrionario temprano y permitir los cambios necesarios durante el periodo de peri-implantación. Para que el cuerpo lúteo se mantenga y se evite que la hembra reinicie un nuevo ciclo estral, el embrión debe señalar su presencia a la madre.

La señal para el reconocimiento materno de la gestación proviene entonces del embrión y puede ser de dos tipos: luteotrópica o anti-luteolítica. En la primera la(s) sustancia(s) producida(s) por el embrión que actúa(n) sobre el cuerpo lúteo para mantener su funcionalidad, por ejemplo la gonadotropina corionica humana (hCG) y la prolactina en

roedores. El segundo tipo de señal evita activamente la luteólisis, y es el mecanismo presente en las especies domésticas, en las que el embrión produce sustancias como el interferón tau (IFNt) en los rumiantes o los estrógenos en los cerdos.

2.4. Placentación

En los mamíferos domésticos el proceso de implantación es gradual y prolongado, y ocurre paralelamente a procesos como la gastrulación y la formación de las membranas extraembrionarias: saco vitelino, amnios, alantoides y corion. La formación de las membranas extraembrionarias en los mamíferos euterios, es decir aquellos que forman una placenta completa, es un proceso indispensable que permite que el embrión se adhiera o implante al endometrio materno.

Las cuatro membranas extraembrionarias mencionadas se forman a partir del trofoblasto, mesodermo y endodermo embrionarios. El saco vitelino se origina a partir del endodermo primitivo, estructura que junto con el trofoblasto y el mesodermo, forman al corión y al amnios. El amnios contiene al líquido amniótico que se encuentra en contacto directo con el embrión y es la membrana más interna. El corión, por el contrario, es la membrana más externa del embrión y por tanto es la que entra en contacto directo con el endometrio uterino materno. El alantoides se origina de una evaginación del intestino primitivo y es de donde surge el sistema vascular de la placenta fetal.

Conforme el embrión se desarrolla, el saco vitelino involuciona y el alantoides se llena de líquido, por lo que éste último se fusiona con el corion para formar el corioalantoides, que se vuelve la membrana más externa y por tanto la porción fetal de la placenta. La placenta es un órgano temporal que representa una interfase a través de la cual se lleva a cabo el intercambio bidireccional de nutrientes, gases, hormonas y otras sustancias entre la madre y el feto. La unidad funcional de la placenta son las vellosidades corioalantoideas, las cuales son proyecciones pequeñas del corioalantodes que se interdigitan con el endometrio uterino, y cuya superficie de absorción permite dicho intercambio. La placenta es un órgano endócrino capaz de producir una gama de hormonas que ayudan a controlar el ambiente uterino, favoreciendo el desarrollo del feto e incluso tiene un papel importante en el momento del parto. En las diferentes especies la placenta tiene características particulares, por lo que existen varias clasificaciones, según su posición uterina, la distribución de las vellosidades corioalantoideas y su histología.

2.5 Nutrición fetal

Las glándulas uterinas son necesarias para apoyar la gestación. Esta premisa se conoce desde hace 500 años pero fue hasta principios del siglo XX que se acuñaron los términos “histotrofo” y “hemotrofo” a las sustancias esenciales para el desarrollo y el crecimiento fetal que se suministran a través del endometrio uterino o directamente de la sangre materna.

El histotrofo (leche uterina) es un componente crítico para la supervivencia temprana del embrión y funciona como el único aporte de vitaminas, minerales, enzimas así como de una gran cantidad de nutrientes requeridos por el feto antes de la implantación; también es una fuente de biomarcadores de la función uterina cuyo análisis es un apoyo para mejorar la comprensión del medio ambiente en el que se desarrolla el embrión en sus etapas tempranas. Se ha descrito que el proteoma del histotrofo cambia según el día del ciclo estral en que es analizado, indicando así un control hormonal de su composición (figura 15).



Figura 15. Presencia de leche uterina. Activar Windows

En ganado bovino también se han detectado proteínas como citoqueratina 10 y estamina, además de legumina, inhibidor de la metaloproteasa-2, cromatina A y piridoxalquinasa cuya concentración y proporción cambia según el día en el que se toma la muestra. Los análisis de las secreciones de las glándulas endometriales revelan funciones biológicas distintas implicadas en la gestación temprana, estas funciones incluyen la remodelación del medio ambiente uterino como preparación para la implantación, el metabolismo de nutrientes, el crecimiento, desarrollo y protección del embrión, el mantenimiento de la salud uterina y la modulación de la inmunidad materna.

Una vez que se efectúa la implantación embrionaria se establece la comunicación entre la madre y el feto mediante las membranas fetales. Desde este momento el feto se nutre directamente de materiales provenientes de la circulación materna, es decir, de hemotrofo. Las glándulas endometriales seguirán secretando histotrofo, aunque éste ya no sea la principal fuente de nutrientes del embrión

2.6. Placenta y transporte de nutrientes

El paso de nutrientes desde la madre al feto, una vez formada la placenta, se realiza por un complejo sistema de perfusión y transporte mediante interdigitaciones que presentan los diferentes tipos de placentas (figura 16).

A diferencia de la mayoría de los tejidos metabólicamente activos que involucran el proceso y la división de nutrientes así como productos metabólicos entre los tejidos y la sangre, la placenta alberga dos sistemas circulatorios distintos pero entrelazados, el fetal y el materno. El transporte y la función metabólica placentaria se encuentra en la interfaz de

estos dos sistemas. Su complejidad se incrementa por los continuos cambios anatómicos y fisiológicos que ocurren en la madre y en el feto durante la gestación así como por la competencia de los limitados recursos disponibles para ambos.

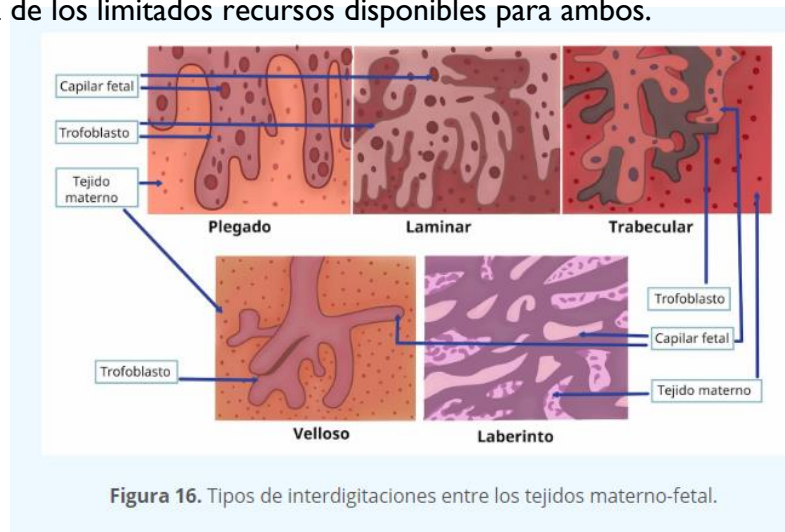


Figura 16. Tipos de interdigitaciones entre los tejidos materno-fetal.

Las sustancias se pueden transferir a través de las barreras epiteliales, ya sea entre las células a través de espacios llenos de agua intercelular (transporte paracelular) o a través de las propias células (transporte transcelular). Sin embargo, en la placenta, debido a que el sincitiotrofoblasto es un verdadero sincitio, no existen espacios intercelulares en su epitelio, por lo que se sugiere el término “canales trans-trofoblásticos” para los conductos llenos de agua que atraviesan el sincitiotrofoblasto. Este tipo de transporte es característico en especies con placentas hemocoriales, así, el flujo transplacentario de moléculas hidrófilas pequeñas e inertes es proporcional a sus coeficientes de difusión de agua. La transferencia de moléculas grandes como la alfa-fetoproteína y algunas enzimas perfundidas in vitro y la recuperación de linfocitos así como de otras células sanguíneas fetales en la circulación materna in vivo son una prueba de la función de estos canales. Una adecuada nutrición fetal permite un correcto crecimiento, esto es importante en la producción animal por su influencia en el peso al nacimiento. Pesos bajos se asocian con alta mortalidad perinatal, bajas tasas de crecimiento y bajo peso adulto. En contraste, fetos con alto peso al nacer resultan en una mayor tasa de distocia y mayores intervalos entre partos.

Es importante comprender que la fase de desarrollo fetal más importante es al final de la gestación, donde se presenta un crecimiento acelerado con desarrollo exponencial del feto y de sus envoltorios. Por tal razón, resulta crucial que la madre esté bien alimentada.

2.7. Etapas del parto

El parto es el proceso fisiológico por el cual el útero expulsa el feto(s) y su(s) placenta(s) al completarse el periodo de gestación; para ello es necesario que el miometrio pase de ser un tejido en reposo, estado fundamental para el mantenimiento de la gestación, a uno que se contrae en forma coordinada y activa.

El parto se divide en tres eventos donde existen cambios, tanto en la madre como en el feto. Se piensa que el o los fetos son los responsables de iniciar el parto, al desencadenar una compleja cascada de eventos neuroendócrinos, que promueven las contracciones del miometrio y la dilatación del cérvix (primera etapa del parto), y que prosiguen con la expulsión del (de los) feto(s) (segunda etapa del parto) y la expulsión de la(s) placenta(s) (tercera etapa del parto).

Signos: Las hembras muestran notorios cambios de comportamiento cuando se aproxima al parto. En general, podemos observar inquietud, inapetencia y aislamiento, mientras que otras especies harán nidos característicos como es el caso de las especies polítopas. Al mismo tiempo, el ligamento sacrociático se encuentra relajado, existe un aumento en el volumen de la glándula mamaria. Asimismo, debido a una disolución de tejido conectivo y que la sínfisis púbica tiene la capacidad de desmineralizarse, el diámetro del canal pélvico (canal de parto) se hace mayor (figura 1).

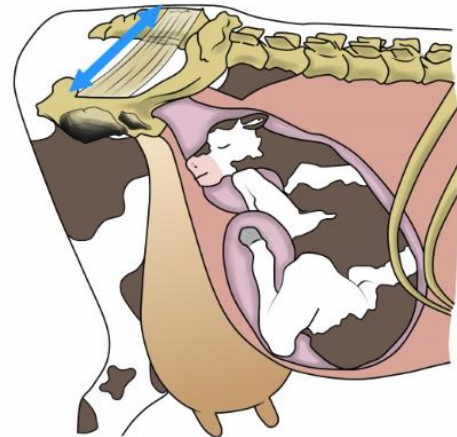


Figura 1. Aumento de diámetro del canal pélvico.

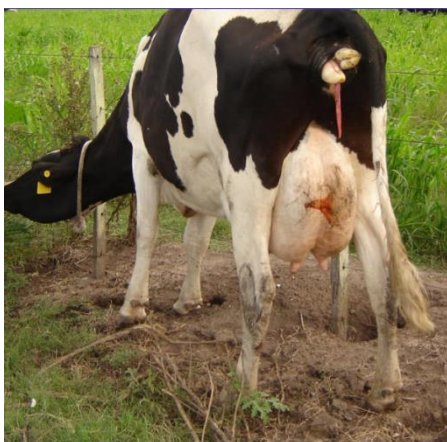


Figura 2. Expulsión de feto.

Expulsión del feto: este evento comienza con la ruptura del amnios y el alantoides y culmina con la expulsión del feto (figura 2). Esta fase se debe a dos tipos de presión:

- Contracciones uterinas directas de aumentada intensidad y frecuencia.
- Presión abdominal, con cierre de la epiglotis. Esta presión es un acto reflejo consecuencia de las contracciones uterinas; sin el cierre de la epiglotis la

hembra no ejercerá presión de músculos abdominales.

Expulsión de la placenta: este proceso debe ocurrir en un período no mayor de 12 horas (figura 3).

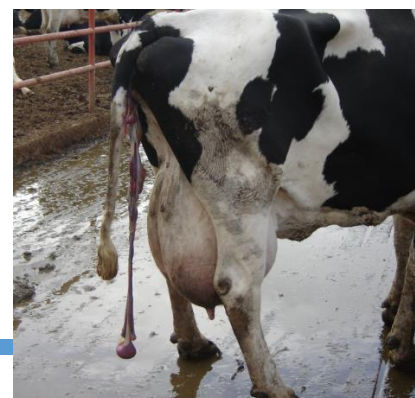


Figura 3. Expulsión de la placenta.

2.8. Endocrinología del parto.

Los conocimientos acerca de la endocrinología del parto se han generado en un número limitado de especies, entre las que destacan los ovinos, los primates y los ratones; se observan variaciones importantes entre las mismas, lo cual indica que no es un mecanismo fisiológico simple y único.

A continuación se presenta, a partir de la interpretación de la literatura actual, el modelo ovino que describe los eventos endócrinos que desencadenan al parto. Teoría fetal del inicio del parto El feto desencadena el proceso del parto, a través de la maduración gradual que experimenta en el eje hipotálamo-hipófisis-glándulas adrenales hacia el final de la gestación. Del mismo modo, se propone que la maduración de otros órganos fetales, así como de algunas membranas placentarias y del tejido uterino, forma parte de un conjunto de relojes biológicos que participan en desencadenar el parto.

CUADRO 12.1

Duración aproximada de las diferentes etapas del parto en varias especies domésticas.

ESPECIE	ETAPA I INICIO DE LAS CONTRACCIONES UTERINAS Y DILATACIÓN CERVICAL (HORAS)	ETAPA II EXPULSIÓN DEL(OS) FETO(S) (MINUTOS U HORAS)	ETAPA III EXPULSIÓN DE LAS MEMBRANAS FETALES (HORAS)
Vaca	2 a 6	2 a 4 h	6 a 12
Oveja (Hafez, 1989)	2 a 6	30 a 120 min	0.5 a 8
Cabra	2 a 12	1 a 3 h	1
Yegua (Hafez, 1989)	1 a 4	12 a 30 min	1
Cerda (Hafez, 1989)	2 a 12	150 a 180 min	1 a 4
Perra	6 a 12	3 a 12 h	

Para que comience la inducción del parto, la corteza adrenal del feto, al adquirir una masa específica a medida que avanza la gestación y volverse paulatinamente más sensible a la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), aumenta su capacidad para secretar cortisol. El proceso de maduración del eje hipotálamo-hipófisis-glándulas adrenales es esencial para el inicio del parto, ya que al final de la gestación el hipotálamo fetal secreta a la hormona liberadora de la ACTH también llamada CRH (por sus siglas en inglés, corticotropinreleasing hormone), que a su vez desencadena la liberación de la ACTH por la adenohipófisis, la cual estimula a la corteza adrenal del feto para producir cortisol.

Este incremento que acentúa los niveles de cortisol fetal, que en parte podría estar regulado también por genes reloj, origina una cascada de procesos endócrinos y bioquímicos que provocan cambios a nivel de la placenta y en consecuencia en la condición endocrina de la madre.

A nivel placentario, el cortisol fetal origina un cambio en los sistemas enzimáticos, donde específicamente induce la síntesis de las enzimas 17α -hidroxilasa y C17,20-liasa, lo cual produce un aumento en la producción de estrógenos a expensas de la progesterona (imagen 12.4). Estos cambios se inician de 25 a 30 días antes del parto en la vaca, siete a 10 días antes en la cerda y dos a tres días antes en la oveja.

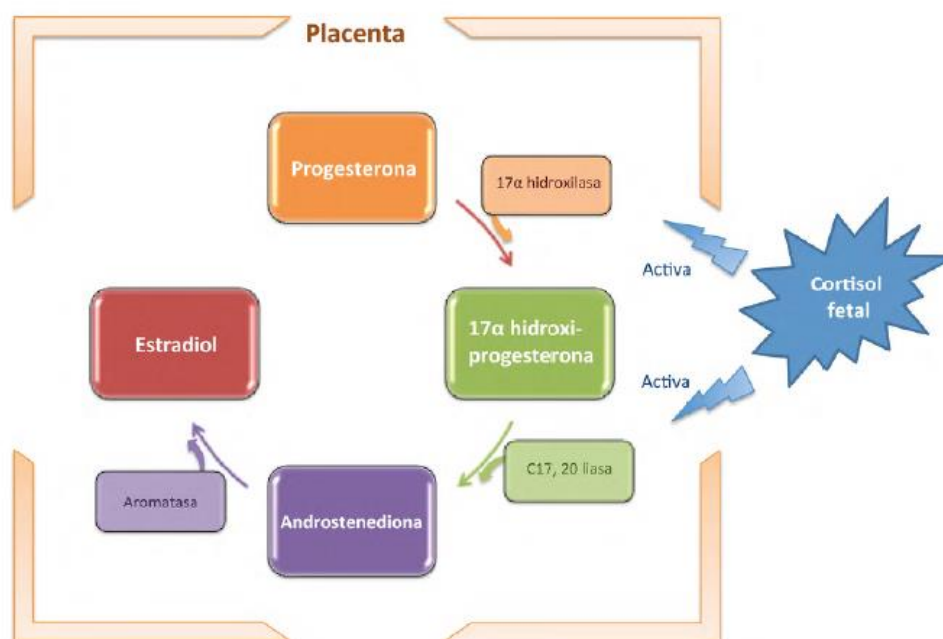


IMAGEN 12.4: conversión de progesterona a estradiol por los corticoides del feto. El cortisol fetal activa los sistemas enzimáticos de la placenta (específicamente a la 17α -hidroxilasa y a la C17, 20-liasa), originando un incremento en la producción de estrógenos a expensas de la progesterona (Elaborada por la Dra. Lucía Rangel y el Dr. Antonio Porras).

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 púbica, aunque también actúa relajando los ligamentos pélvicos y, en algunas especies como la cerda, también en el cérvix, miometrio y glándula mamaria.

El rol de las prostaglandinas y la oxitocina

Las prostaglandinas juegan un papel importante, tanto en el inicio del proceso como en el control de las contracciones miométricas. 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 tenga 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 esquematizado en la figura 11).

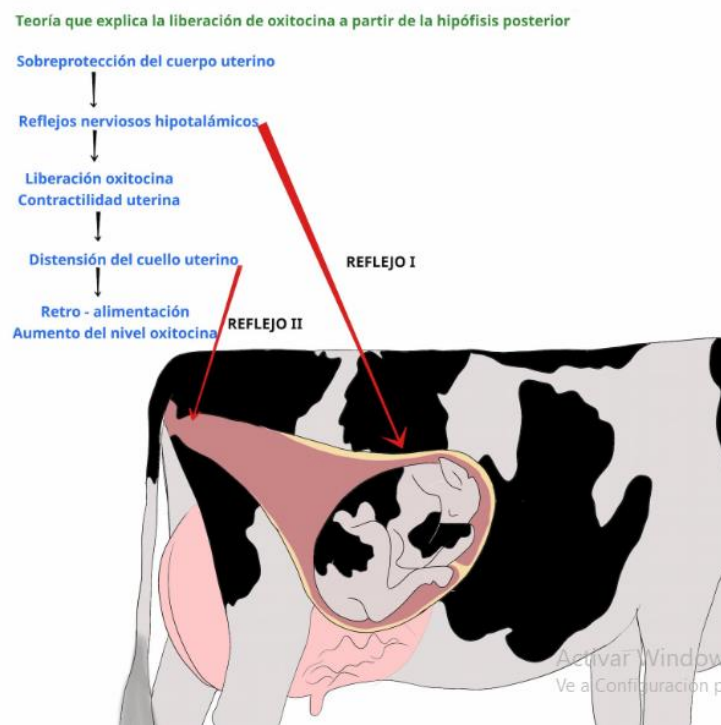


Figura 11. Diagrama del reflejo de Ferguson.

2.9. Características del parto en las diferentes especies

Durante las últimas semanas de la gestación, la hembra se prepara para el parto y el inicio de la lactancia. Esto permite detectar una serie de cambios físicos (aumento del volumen de la(s) glándula(s) mamaria(s), relajación de los ligamentos pélvicos), alteraciones conductuales (inquietud, inapetencia, la hembra busca aislarse) y fisiológicos (incremento de la frecuencia respiratoria, caída de la temperatura) que indican un parto inminente. A

continuación se revisan los signos que indican la proximidad de un parto, así como las características del mismo, en las diferentes especies domésticas.

Vaca

En la vaca un signo evidente de la proximidad del parto es la relajación de sus ligamentos pélvicos; el cual es fácilmente detectable a la vista (lo que se denomina como “vaca quebrada”). En vaquillas el crecimiento de la ubre puede iniciar varios meses antes del parto, pero en vacas multíparas sólo es notorio hasta las últimas semanas de la gestación. Al acercarse el parto, la glándula mamaria secreta calostro de color blanco o amarillo aproximadamente de dos a cuatro días antes del parto.

La vulva aumenta su tamaño y puede observarse la salida de un moco viscoso y blanquecino tres a cuatro días antes del parto. La vaca tiende a aislarse de sus compañeras de hato, sobre todo cuando está en pastoreo, se muestra inquieta y tiende a echarse y a pararse constantemente. Hay que aceptar que ninguno de estos signos es lo suficientemente específico como para permitir predecir el momento preciso en el que ocurrirá el parto.

Oveja

A medida que la oveja se aproxima al parto, aumenta el tamaño de la ubre, el abdomen y la vulva. Al inicio del parto la oveja busca apartarse del rebaño, olfatea sus descargas vaginales y bala regularmente; la mayoría de las ovejas se echan y se paran constantemente, antes de que el amnios aparezca por la vulva y se rompa.

La segunda etapa del parto usualmente requiere de una hora o menos. La oveja en general pare echada en posición esternal y son obvios los signos de esfuerzo. Similar a la vaca, la presentación normal del feto es longitudinal anterior (o posterior), en posición dorso-sacra y la actitud es de cabeza y miembros anteriores extendidos. Después del parto la oveja se levanta –causando que el cordón umbilical se rompa– para comenzar a frotar y a lamer a su cría (imagen 12.10). Como regla general las ovejas primíparas tardan más en parir que las multíparas, y por consiguiente es más probable que requieran asistencia.

Cabra

La cabra manifiesta diversos signos que indican la proximidad del parto, como la relajación de los ligamentos pélvicos, el aumento del tamaño del abdomen y de la vulva. En la mayoría de las cabras hay un crecimiento rápido de la ubre, aunque no es un buen indicador de un parto inminente, ya que las hembras primerizas pueden tener un desarrollo de la misma a partir del tercer o cuarto mes de la gestación, y existen cabras adultas en las que el crecimiento de la ubre se presenta justo antes del parto.

Yegua

La primera etapa del parto de la yegua 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, la yegua está intranquila; se echa y se levanta repetidamente, eleva la cola como si fuera a orinar, se mira los flancos y puede presentar signos de cólico moderado.

La glándula mamaria se desarrolla notablemente de tres a seis semanas antes del nacimiento del potro y empieza a tener goteo de calostro dos o tres días antes del parto, el cual finalmente se endurece en el extremo distal de la teta, adquiriendo una apariencia de cera adherida. En el momento en el que aumentan las contracciones uterinas, el potro entra al canal del parto en presentación anterior, con la cabeza y las manos extendidas.

Cerda

En la cerda se pueden observar diferentes signos al acercarse el momento del parto; un vientre aumentado de tamaño, debido al volumen del útero y de los fetos que contiene. Las glándulas mamarias también crecen y se edematizan. Puede observarse, asimismo, secreción de calostro dos días antes del parto. La vulva se observa enrojecida y aumentada de tamaño a causa del edema. La cerda tiende a construir su nido, conducta que no se presenta en los parideros que tienen forma de jaulas, así que lo único que se puede observar en términos de comportamiento es inquietud.

El incremento de la frecuencia respiratoria está relacionado con el inicio del parto, alcanzado, en casi todas las cerdas, un pico seis horas antes del parto. En la cerda el parto dura entre dos y tres horas y ocasionalmente se extiende hasta ocho horas.

Perra y gata domésticas

Los signos de parto en la perra como son la relajación de la musculatura de la pelvis y del abdomen, indican un parto inminente, pero son signos poco perceptibles. Varios días antes del parto la perra puede estar inquieta, aislarse y rehusar el alimento; es factible, además, que de 12 a 24 h antes del parto muestre el comportamiento de anidamiento. El signo clínico más importante de un parto inminente es la caída de la temperatura rectal, causada por la disminución abrupta de los niveles de progesterona, que en esta especie es termogénica. La temperatura rectal de las perras cae de manera repentina entre ocho y 24 h antes del parto, y la variación depende del tamaño corporal. En perras de razas pequeñas la temperatura puede caer a los 35 °C, en razas medias alrededor de los 36 °C y en razas grandes en torno a los 37 °C. En la gata se puede detectar una disminución de la temperatura rectal durante las 12 h previas al parto o en la primera etapa del mismo,

pero este signo no es tan confiable como en la perra. La gata se observa menos activa, pero las primíparas pudieran estar más ansiosas durante los dos últimos días de la gestación, buscando un lugar donde parir. Algunas gatas rehúsan el alimento de 12 a 24 h antes del parto, mientras que otras no muestran anorexia y pueden incluso comer durante el parto. En las hembras primíparas, tanto perras como gatas, la secreción láctea puede comenzar 24 h antes del parto, mientras que después de varias gestaciones, el calostro llega a detectarse una semana antes del parto. Lo normal es que la primera etapa del parto dure entre seis y 12 h, aunque en las hembras primíparas nerviosas puede tardar más tiempo. La relajación del cérvix y la vagina ocurren durante este periodo; las contracciones de la musculatura uterina son intermitentes sin signos de esfuerzo abdominal. La hembra se muestra molesta, ocasionalmente observa su abdomen y está inquieta.

210. Distocia.

Una de las primeras intervenciones que el hombre realizó con los animales, fue la ayuda que les proporcionó al 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 distokía y significa "parto difícil" (figura 18), por su parte, eutocia (eutokia) significa "parto fácil o fisiológico". El parto distócico puede ser producido por diferentes causas, que han sido divididas en dos grandes grupos: causas mediatas y causas inmediatas.

Las causas básicas o mediatas de distocia en gran parte pueden prevenirse y en algunos casos hasta eliminarse. Son clasificadas en hereditarias, nutricionales y de manejo, infecciosas y traumáticas. Algunos factores hereditarios pueden afectar directamente a la madre o al producto.

Dentro de las causas heredables que afectan a la madre se puede mencionar la hernia inguinal, que cuando se presenta evita que la hembra ejerza una buena presión abdominal al momento del parto, produciéndose con esto la falta de dilatación del cérvix y la falla en la expulsión del producto.

El doble cérvix, la hipoplasia vaginal y vulvar son también causas mediatas de distocia, es decir, cuando una hembra presenta alguno de estos problemas se piensa con gran certeza que tendrá problemas al parto por la obstrucción que estas condiciones representan. Hay otro grupo de causas que son producidas por genes recesivos de la madre o del padre y que producen alteraciones en el producto como son la hidropesía, tanto de membranas

fetales como del producto y los fetos hidrocefalos (figura 20). En cualquiera de estas condiciones la expulsión del producto se ve impedida por el gran volumen que presentan tanto las membranas fetales como la cabeza del feto. Se menciona en la literatura que ciertos machos transmiten estos defectos a su descendencia, por lo que una buena forma de evitar estos problemas es no incluir a estos machos en programas reproductivos. Igualmente, los toros que tienen crías de gran tamaño al momento del nacimiento deben eliminarse como reproductores.

Nutricionales y de manejo

Estos factores afectan a la madre principalmente, y ambas están relacionadas, ya que una nutrición deficiente refleja un mal manejo. En este sentido se mencionan los casos en los cuales las vaquillas están subdesarrolladas por mala nutrición, o cuando son servidas muy jóvenes, cuando no alcanzan un buen desarrollo corporal; esto en muchos casos puede ser causa de distocia ya que al momento del parto el canal pélvico es todavía muy pequeño, e impide la evolución normal del parto.

Es necesario mencionar la importancia del ejercicio de la hembra ya que mejora la condición física, el tono muscular y por lo tanto, aumenta la resistencia del animal, disminuyendo el peligro de fatiga e inercia uterina al momento del parto.

Infeciosas

Las infecciones del útero grávido pueden producir problemas de distocia, debido a que causan inercia del útero.

Traumáticas

En grandes especies, los problemas traumáticos son frecuentes, sobre todo como resultado de fracturas en los huesos del canal pélvico, y cuando hay formación de exostosis, que reducen el diámetro pélvico e impiden el paso normal del producto al momento de su expulsión. En grandes especies, los traumatismos de este tipo son poco frecuentes.

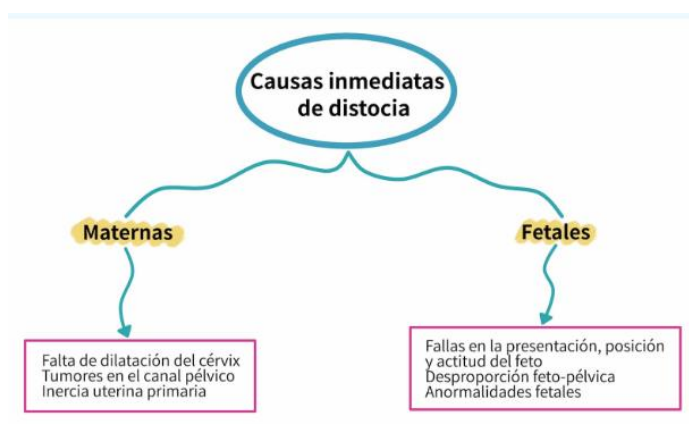


Figura 21. Clasificación de causas inmediatas de distocia.

2.11. Maniobras obstétricas

Para resolver un parto distócico se emplean cuatro procedimientos obstétricos, estos son:

- Mutación.
- Extracción forzada.
- Fetotomía.
- Quirúrgico: cesárea.

Mutación: Son manipulaciones necesarias para resolver las fallas en la presentación, posición o actitud del feto y se utilizan cuatro procedimientos.

Repulsión: Consiste en empujar al feto hacia la cavidad abdominal para crear espacio y así corregir una mala posición (figura 23). Esta maniobra es difícil si la hembra se encuentra tirada en decúbito ventral o si las contracciones uterinas son muy intensas. En este caso la anestesia epidural será de mucha ayuda.

Rotación: Consiste en girar al feto sobre su eje longitudinal para colocarlo en una posición dorso-sacra (figura 24). Esta operación es necesaria en casos de posición dorso-púbica o dorsoiliaca, para lograrlo es muy importante lubricar al feto y el canal pélvico antes de hacer la rotación, ésta se facilita si el feto es previamente rechazado a la cavidad abdominal y es muy difícil si éste se encuentra encajado dentro del canal pélvico.

Versión: Se realiza cuando existen 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 grandes especies.

Rectificación de extremidades: Este punto se refiere a la corrección de posturas anormales, por lo común, debidas a flexiones de los miembros o de la cabeza y 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:

- Repulsión de la porción proximal del miembro.
- Rotación lateral de la porción media.
- 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 del mismo, para no lesionar la pared uterina.

Extracción forzada: Consiste en sacar al feto por el canal pélvico de la madre al aplicar fuerza fuerza de tracción desde el exterior, se recomienda en casos de inercia uterina, cuando el feto es relativamente grande o cuando se aplica anestesia epidural.

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.

Reglas para sección cesárea:

- Verificar que el feto esté vivo a través del reflejo palpebral u ocular.
- En fetos muertos se recomienda la fetotomía por la posible contaminación del útero.

UNIDAD III. EL PUERPERIO Y LACTACIÓN

3.1. Puerperio

Este periodo se caracteriza por modificaciones anatómicas, histológicas, citológicas, bacteriológicas y metabólicas del útero así como de su contenido. El puerperio es donde se lleva a cabo la regeneración uterina, ocurre en el centro del ciclo reproductivo, después de la gestación o alternativamente del anestro.

Involución Uterina

El útero después del parto presenta modificaciones macroscópicas y microscópicas que le permiten restablecer las características de un útero no gestante. Su peso y tamaño posparto disminuyen de inmediato como consecuencia de la atrofia de las fibras musculares, de la necrosis del tejido endometrial (las carúnculas en rumiantes) y de la eliminación de líquidos. El proceso de involución ocurre al mismo tiempo que el endometrio se regenera para recuperar las condiciones necesarias para albergar una nueva gestación.

La involución se favorece por las contracciones uterinas, las cuales además facilitan la eliminación de fluidos y de desechos tisulares, y promueven la vasoconstricción para reducir riesgos de hemorragias. Las contracciones del miometrio son consecuencia de la oxitocina, cuya secreción se estimula durante el amamantamiento, y de la prostaglandina F2 alfa (PGF₂α) de origen uterino, que sigue secretándose durante las primeras semanas posparto.

Durante la involución uterina se eliminan por la vagina secreciones conocidas como loquios, las cuales están formadas por restos de membranas fetales, tejido endometrial,

fluidos y sangre. Estas secreciones oscilan entre el color rojo y el café; tienen consistencia viscosa y son inodoras. La mayor parte de los loquios se desecha durante los primeros 10 a 15 días posparto y después desaparecen, excepto en casos de involución uterina anormal, en los que el útero continúa eliminando fluidos de consistencia, color y olor diferentes, cuyas características son sugerentes de un proceso infeccioso.

3.2 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 aún es 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.

3.3 Retención de la placenta

La retención de placenta (figura 5) 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 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 el 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 en los herbívoros relativamente común, 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; 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.

La etiología y patogenia de la retención placentaria no se conoce. Una explicación propuesta consiste en que se debe a una falla de los mecanismos proteolíticos encargados de separar el cotiledón de la carúncula. Se ha observado que la actividad de la colagenasa en el cotiledón es mayor en las vacas que no retienen placenta que en las que la retienen. Se propone que algunos factores de riesgo de la retención placentaria podrían estar actuando mediante la disminución de la actividad de la colagenasa. Por otra parte, también las condiciones inflamatorias en la unión carúncula-cotiledón de origen infeccioso impiden la separación de la placenta.

3.4 La Madre y su cuidado después del Parto

La madre se encuentra generalmente muy agotada después del parto por lo que requiere un cuidado muy particular. En casos sospechosos o después de partos difíciles es recomendable convencerse sobre el estado de los órganos reproductores (presencia de otro feto, heridas o perforaciones uterinas y vaginales, hemorragias etc.) mediante el examen vaginal. Es posible realizar este examen si se respetan las reglas y precauciones técnicas y debe tenerse en cuenta que con las manos sucias se puede infectar el útero fácilmente por su poca resistencia y también por el hecho de que el útero puerperal y su contenido son el mejor medio de cultivo y una buena incubadora para todos los gérmenes que penetran en él. Para poder realizar el examen del útero es mejor usar los guantes obstétricos estériles o trabajar con las manos bien lavadas con jabón, vaselina, crema de sulfa o anti biótico, o con lubricante especiales. Trabajar con las manos sin protección es posible solo en crías que se encuentren libres de enfermedades infectocontagiosas transmisible al hombre.

En la práctica diaria es a veces corriente depositar en la cavidad uterina después del parto normal y espontáneo bolos uterinos para evitar complicaciones infecciosas. Durante el periodo puerperal precoz hay que ofrecer una gran atención a la ubre al prevenir las infecciones e inflamaciones. Es muy conveniente mantener la glándula mamaria con un máximo de higiene y se debe controlar su configuración, sensibilidad, tamaño y secreción. Es totalmente incorrecto ordeñar las vacas antes del parto o después de este sin brindar la primera leche (calostro) al ternero recién nacido, lo que le impide de ese modo incorporar materiales biológicos e inmunobiológicos importantísimo, necesario para los primeros días extra uterinos.

3.5. Cuidados del Recién Nacido Durante la Primera Fases después del Parto

Inmediatamente después del parto hace falta tener en cuenta 2 factores muy importantes para el estado de salud del ternero la respiración y el ombligo. En el ganado vacuno el ombligo se rompe antes de terminar el periodo de expulsión, las arterias y venas se retraen a la cavidad abdominal se taponan con los trombos sanguíneos y de todo el cordón umbilical solo queda la vagina amniótica. Después de la interrupción de la circulación placentaria aumenta el nivel de CO₂ en la sangre fetal lo que irrita el centro de la respiración y aparecen las primeras inspiraciones, las cuales van acompañadas por tos y estertores, como consecuencia de la presencia de los líquidos fetales en la tráquea y los bronquios. Con la primera inspiración termina también la circulación fetal y se inicia la circulación post-natal. En caso de partos prolongados los terneros nacen a veces asfixiados y es necesario iniciar inmediatamente los ensayos de respiración artificial. La respiración artificial se puede aplicar por varios métodos. En cada caso es necesario situar al ternero en un nivel inclinado y antes de iniciar la operación se recomienda eliminar con una toalla limpia el moco de la boca y nariz y extraer la lengua.

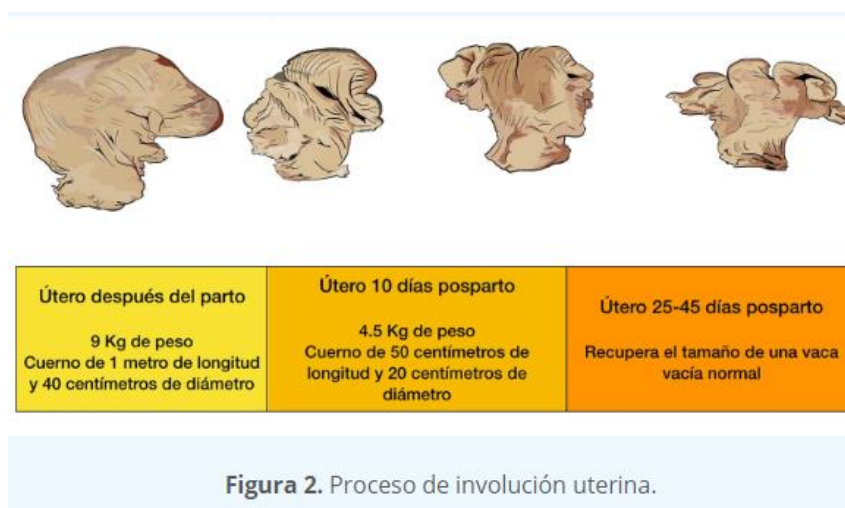
En caso de asfixia ligera tiene éxito la irritación de la nariz con un palito o tallo fino y limpio, lo cual pronto provoca el estornudo y luego la respiración. En caso más graves se levanta la parte trasera del ternero y sacándole la lengua se efectúan compresiones rítmicas del tórax y masaje del corazón. Para revivir a los terneros hay también algunos instrumentos especiales que son muy útiles pero bastante caros. Después que el recién nacido inicia las primeras respiraciones, es necesario procurarse sobre todo la desinfección del ombligo. Desatender esta norma significa un peligro para la vida del ternero debido a las infecciones locales y totales que pueden presentarse y que ocasionan grandes pérdidas. El resto de cordón umbilical se debe sumergir en soluciones desinfectantes tales como; solución de alcohol y formalina a partes iguales, fenol a 5%, solución de creolina. Estas soluciones no solamente ejercen su poder de desinfección sino también impregnan el tejido y lo protegen contra la penetración de los microbios y aceleran el proceso de la necrosis seca y la caída del mismo. Tan pronto los terneros buscan los pezones se les deja mamar (después de lavar la ubre) y se les ayuda para que no se caigan, al cuidar y seguir los primeros pasos del ternero después del parto. Es necesario tener en cuenta que la primera alimentación del ternero con el calostro tiene una importancia enorme para la vida del recién nacido. Los terneros que por cualquier razón no maman el calostro se desarrollan muy mal y manifiestan una gran tendencia a enfermarse. Por tanto es muy importante que ingieran calostro en las primeras 2h después del nacimiento y por lo menos durante 2 a 3 días después del parto.

3.6. 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 involuciona 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 (figura 2).



El reflejo de Ferguson durante el parto induce la liberación de oxitocina, responsable mayor de las contracciones uterinas cambiando la contractibilidad de las células miométricas; su acción contribuye a expulsión de las membranas placentarias y a disminuir el lumen uterino (interactivo 2).

Esto es posible porque la oxitocina permite que las células musculares se acortan después de cada contracción. La acción del reflejo de Ferguson es reemplazada 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 reduce a menos de 200 μ .

El tiempo de involución del útero varía entre especies, debido a particularidades relacionadas a su finalidad zootécnica o a su ciclo reproductivo, y en especial a su tipo de placentación, que en última instancia determina la magnitud de la regeneración tisular. El endometrio de los animales con placenta cotiledonaria (rumiantes) sufre mayores modificaciones que el endometrio de las especies con placenta difusa (équidos y porcinos), lo cual influye el tiempo de involución uterina.

Inicio de la Actividad Ovárica Posparto (Ciclicidad)

El anestro posparto es el periodo, después del parto, en el cual la hembra no muestra ciclos estrales (actividad ovárica cíclica que culmine en la ovulación de un ovocito fértil). En la vaca lechera, el parto es seguido de un período de inactividad ovárica de longitud variable, el cual es afectado principalmente por el estado nutricional, la producción de leche, la ganancia o pérdida de condición corporal y por condiciones patológicas.

3.7 Infecciones uterinas

Alrededor de 95 por ciento de las vacas desarrolla una infección uterina durante los primeros días posparto; sin embargo, la mayoría elimina las infecciones mediante sus mecanismos de defensa y solamente de 30 a 50% de ellas desarrollan metritis o endometritis dentro de las tres primeras semanas. Las bacterias más frecuentes encontradas en procesos inflamatorios en útero son: *Trueperella pyogenes* (antes: *Arcanobacterium pyogenes*, *Actinomyces pyogenes* y *Corynebacterium pyogenes*), *Fusobacterium necrophorum* y *Escherichia coli*. Estas tres bacterias actúan sinérgicamente.

Metritis puerperal

La metritis puerperal es frecuente en las vacas que tuvieron retención placentaria. Esta patología se observa en las primeras tres semanas posparto y se caracteriza por la acumulación de secreciones en el lumen uterino de color rojo o café, acuosas, fétidas y retraso en la involución (Figura 5). Las vacas afectadas muestran signos de enfermedad sistémica (toxemia y fiebre >39.5 °C).



Figura 5. Secreción de una vaca con metritis puerperal. Esta secreción es abundante, acuosa y fétida; además, las vacas presentan fiebre.

Metritis

La metritis es el proceso inflamatorio que involucra las diferentes capas del útero (mucosa, muscular y serosa). Esta afección se presenta en los primeros 21 días posparto y se caracteriza por retraso en la involución uterina y secreciones purulentas, y no hay signos de enfermedad sistémica (Figura 6).



Figura 6. Secreción de una vaca con metritis. La secreción es purulenta, no hay fiebre; se observa un retraso en la involución uterina.

Endometritis

La endometritis se refiere a la inflamación de la mucosa uterina; clínicamente se caracteriza por un retraso de la involución uterina y por la presencia de exudado purulento o mucopurulento (Figura 7). Puede presentarse en los primeros 21 días posparto o más, sin presentar ninguna afectación en el estado clínico general.



Figura 7. Secreción vaginal de una vaca con endometritis. La secreción puede ser opaca o clara con algunas estrías de exudado purulento.

Endometritis subclínica

Es una inflamación crónica del endometrio sin signos clínicos. Se ha diagnosticado entre los días 30 y 40 posparto. El diagnóstico sólo se puede establecer mediante citologías uterinas. Esta condición afecta entre el 20 y 40% de las vacas (Figura 8). Los factores de riesgo identificados son la retención placentaria y metritis.



Figura 8. Secreción vaginal cristalina, propia de una vaca que ha sanado de cualquier patología del puerperio. No obstante, entre 20 y 40% de estas vacas pueden padecer endometritis subclínica en el día 40 posparto.

Diagnóstico

El diagnóstico se basa en la evaluación uterina mediante la palpación rectal, en la cual se revisa el grado de involución y las características de las secreciones. Además, es necesaria la evaluación clínica general, ya que las vacas con metritis durante los primeros 10 días posparto pueden presentar fiebre. Otra forma de establecer el diagnóstico es mediante la evaluación de las secreciones uterinas sin la palpación rectal. Se puede hacer mediante la introducción de la mano por vía vaginal, previa limpieza de la región; aunque este método aparentemente puede representar riesgos, la experiencia en campo indica que es un método seguro y rápido. Otra posibilidad es mediante la vaginoscopía, este método permite la observación del cérvix y de las secreciones uterinas. Existe un instrumento (Metricheck) que se introduce por la vagina y tiene en el extremo una campana atraumática que permite la recolección de las secreciones uterinas (Figura 9).



Figura 9. Metrichcek se introduce por vía vaginal y se recolecta una muestra de la secreción uterina.

Tratamientos

Antibióticos

Los tratamientos intrauterinos con antibióticos se han utilizado durante muchos años y son una opción, siempre y cuando se consideren ciertos aspectos por ejemplo: que el útero es un medio anaerobio; que hay presencia de exudados y tejidos en descomposición y la existencia de una gran diversidad de bacterias que incluso algunas de ellas llegan a producir enzimas que inactivan a algunos antibióticos. Al ser el útero un medio anaerobio, los antibióticos del grupo de los aminoglicósidos no son activos, puesto que necesitan oxígeno. Por otra parte, la acumulación de exudado purulento y desechos de tejidos en el útero inhiben la actividad de las sulfonamidas. Los nitrofuranos son efectivos contra *T. pyogenes*, sólo cuando se utilizan dosis muy altas; las dosis habituales nunca llegan a alcanzar la concentración mínima inhibidora en el endometrio; además, no son activos en presencia de sangre o exudado purulento, son irritantes y se asocian con problemas de fertilidad.

La penicilina por vía intrauterina o parenteral es efectiva para curar infecciones entre los días 25 y 30 posparto; es decir, cuando se ha observado una disminución en la diversidad de especies bacterianas (menor probabilidad que alguna bacteria produzca penicilinas) y predomina *T. pyogenes*, el cual es sensible a este antibiótico. Las formulaciones intrauterinas de cefalosporinas (cefapirina benzatínica) son eficaces en vacas con endometritis entre los días 15 a 20 posparto y no es necesario retirar la leche del mercado.

La tetraciclina es el antibiótico más utilizado por vía intrauterina debido a su amplio espectro y porque mantiene su actividad en las condiciones del útero posparto; no obstante, la probabilidad de resistencia bacteriana es alta debido a su uso continuo durante muchos años, además ocasiona daño en el endometrio y disminuye la fertilidad. El problema más importante en la terapia antibiótica radica en fijar un criterio de cuáles animales verdaderamente la necesitan. En los casos de metritis puerperal no hay duda, estas vacas necesitan tratamientos con antibióticos por vía sistémica e intrauterina. Sin embargo, en los casos de metritis y endometritis tomar la decisión es difícil, ya que muchas vacas se curan sin ningún tratamiento. En la práctica, antes de administrar antibióticos a las vacas, se deben considerar algunos de los diversos factores: las características de las secreciones uterinas, los días posparto, el inicio de la actividad ovárica, la presencia de fiebre y la condición corporal.

Tratamientos hormonales

En la práctica, es frecuente la administración de estrógenos en casos de metritis, particularmente cuando el útero retiene mucho líquido. Se conoce que los estrógenos en condiciones fisiológicas favorecen la contractibilidad uterina y auxilian en la eliminación de las infecciones; sin embargo, en dosis farmacológicas el efecto es negativo. La administración de estrógenos puede contribuir a que las infecciones asciendan a los oviductos y provoquen salpingitis, adherencias ováricas e infertilidad. La $\text{PGF2}\alpha$ juega un papel importante en el parto y durante la involución uterina. En las vacas con puerperio normal, la duración de los niveles elevados de $\text{PGF2}\alpha$ está correlacionada negativamente con el tiempo de involución uterina de esta manera entre más duren los niveles altos de $\text{PGF2}\alpha$ el tiempo de la involución uterina es menor.

Además, la administración de $\text{PGF2}\alpha$ cada 12 horas del día 3 al 10 posparto acorta el periodo de la involución uterina. En la práctica, se utiliza un programa basado en la administración sistemática de PGF2 a todas las vacas cada 14 días a partir del día 25 a 30 posparto. La luteólisis ocasionada por la $\text{PGF2}\alpha$ ayuda a la eliminación de las infecciones uterinas, ya que acorta el periodo de influencia de la progesterona y promueve una fase estrogénica. Cabe recordar que la progesterona suprime los mecanismos de defensa uterinos mientras que los estrógenos los activan.

Cabe señalar que alrededor de 30 por ciento de las vacas desarrolla cuerpos lúteos de vida larga (21 a 50 días) en los primeros ciclos posparto, bajo estas condiciones la inyección de $\text{PGF2}\alpha$, cada 14 días, acorta el ciclo estral y favorece la eliminación de las infecciones uterinas.

Piometra

Esta patología se desarrolla en las vacas que ovulan en los primeros 20 días posparto y simultáneamente padecen una infección uterina. Bajo estas condiciones, la progesterona favorece la proliferación bacteriana y cierra el cérvix, lo que ocasiona acumulación de exudado purulento en el útero. Los cambios ocasionados en el endometrio alteran la secreción de la $\text{PGF2}\alpha$, lo que resulta en persistencia del cuerpo lúteo y anestro. Las vacas con piometra responden muy bien al tratamiento con $\text{PGF2}\alpha$; una segunda inyección de esta hormona, 14 días después de la primera administración, acorta el periodo de recuperación (Figura 10).



Figura 10. Útero de una vaca con piometra. Se puede observar la presencia de un cuerpo lúteo y el exudado purulento. Un signo clínico de estas vacas es el anestro.

3.8. Vacas sin servicio en el día 60 posparto

Después del parto las vacas lecheras tienen un periodo en el cual no presentan ciclos estrales. La duración de este periodo es variable y depende de diversos factores, tales como condición corporal, balance energético y producción de leche, por mencionar los más importantes. La primera ovulación ocurre en promedio a los 30 días posparto pero con un rango que va desde 20 días hasta 80 días posparto. Se espera que el periodo del parto a la primera ovulación sea lo más corto posible, ya que las vacas que ovulan más rápido después del parto tienen un mejor desempeño reproductivo. Las vacas lecheras se deben inseminar una vez que presentan ciclos estrales y que termina el periodo voluntario de espera, es decir, el tiempo después del parto que debe transcurrir antes de realizar la primera inseminación. Es común que se realice la primera inseminación en el primer estro que se presenta después del día 50 posparto; sin embargo, la fertilidad lograda con este servicio es baja, por lo que en algunos casos se opta por inseminar después del día 60 o 70.

La probabilidad de que la vaca sea inseminada depende de la eficiencia en la detección de estros. Es común que sólo se detecte el 50% de las vacas elegibles para mostrar estro. Por otro lado, hay vacas que por causas patológicas o por baja condición corporal, estén en anestro aún después que termina el periodo voluntario de espera. En la práctica se establece un día posparto para hacer un examen reproductivo en aquellas vacas que no han sido inseminadas. Generalmente la revisión de vacas no inseminadas en el día 60 posparto coincide con el final del periodo voluntario de espera, cabe señalar que a este grupo de vacas también se le llama grupo de vacas anéstricas o de “no calor”.

El manejo de estas vacas requiere del conocimiento de la fisiología ovárica. Durante esta revisión se pone especial atención en las características del útero y en las estructuras ováricas, ya que de ello depende el tratamiento que se debe aplicar (Figura 11). La descripción de los hallazgos a la palpación se realiza mediante claves reproductivas, las cuales se registran en las tarjetas reproductivas.

La palpación comienza en el útero (U); es importante determinar si no hay gestación, posteriormente se evalúa la consistencia que puede ser normal (N), edematosa (E) o turgente (T). Después de evaluar el útero se procede a palpar los ovarios comenzando con el derecho (D) y posteriormente el izquierdo (I). A continuación se describen los diferentes hallazgos que se pueden encontrar y el tratamiento o manejo:

Figura 11. Útero de una vaca vacía. Se observa un cuerpo lúteo y un folículo en el ovario derecho. En el ovario izquierdo no se ven estructuras relevantes. Esta manera de describir el aparato reproductor de la vaca se hace por vía rectal y es la base del manejo de las vacas que se examinan en el día 60 posparto.



Hallazgos frecuentes

Útero normal con un cuerpo lúteo (CL) y folículos (F). El cuerpo lúteo se puede encontrar en cualquiera de los ovarios y de acuerdo con el día del diestro podrá tener folículos de diferente tamaño. Un ejemplo de registrar esta información es mediante el uso de claves reproductivas como esta: UN DCL IF. La consistencia normal del útero (es normal cuando no hay edema o turgencia) se encuentra en vacas no gestantes durante el diestro o en vacas que están en anestro. El CL deforma el ovario y en algunos casos representa más de 50% de su tamaño. Determinar el tamaño del CL (CL2 o CL3) no tiene sentido práctico, pues en cualquiera de los dos casos el manejo es el mismo. El CL indica que la vaca está en cualquier día del diestro y obviamente que está ciclando. Es importante señalar que las estructuras mencionadas pueden estar en ovarios diferentes o bien en el mismo ovario. El hallazgo más importante en esta etapa es la presencia del cuerpo lúteo lo que permite el tratamiento con PGF₂, lo cual resulta en la presentación del estro en las siguientes 48 a 120 h. Las vacas con cuerpo lúteo (diestro) es el estado fisiológico que se encuentra con mayor frecuencia en este grupo de vacas, pues ocupa 60% de los días del ciclo estral.

Útero edematoso y un folículo de 10 mm de diámetro (UE DCLI IF10). El útero edematoso se puede encontrar en el proestro y metaestro. La presencia de un cuerpo

lúteo pequeño o de consistencia dura indicaría que está en regresión. La combinación de estos hallazgos permite determinar que la vaca está en proestro. Las vacas que tienen estas características deben ser marcadas para que los trabajadores les pongan más atención, ya que presentarán el estro en los siguientes 2 a 5 días. Si la vaca no es observada en estro se deberá revisar la siguiente semana.

Útero turgente o con tono, ovario derecho estático (liso) y ovario izquierdo con folículo de 10 ó 15 mm de diámetro (UT DE IF15). Estos hallazgos, además de la presencia de moco estral, corresponden a una vaca en estro. Con frecuencia en la palpación de las vacas en anestro se encuentran vacas en estro; estas vacas deberán ser programadas para inseminación.







Útero con edema y ovarios estáticos (UE DE IE). Estas observaciones corresponden a una vaca en metaestro; esta decisión tiene un alto margen de error, ya que también pueden corresponder a un animal en proestro o en anestro verdadero. Un hallazgo que permite ser más acertado en el diagnóstico es la presencia de sangrado metaestral; en este caso la presencia de sangre en el moco cervical indica con seguridad que la vaca está en metaestro; sin embargo, no todas las vacas presentan este sangrado. Estas vacas deben ser palpadas 7 días después para confirmar o corregir un primer diagnóstico. Si la primera palpación fue correcta, en la segunda se encontrará un CL.

Útero con edema, ovario derecho con un cuerpo hemorrágico (CH) y ovario con un folículo de 10 mm de diámetro (UE DCH IF10). Estas observaciones son de una vaca en metaestro. El cuerpo hemorrágico es considerado como la fase de transición entre el folículo que ovuló y el cuerpo lúteo funcional; el CH se palpa como una estructura pequeña con una saliente en forma de torre y es muy suave al tacto. El CH no es sensible a la PGF₂α; por tal motivo será necesario esperar 4 ó 5 días para que se convierta en un cuerpo lúteo y así poder destruirlo con PGF₂α. En la rutina estas vacas se palpan en la siguiente revisión (7 días después).

Útero normal y ovarios estáticos (UN DE IE). Esto caracteriza a las vacas que están en anestro verdadero. Las vacas caen en anestro principalmente por encontrarse en balance negativo de energía; este problema es más grave en vacas de primer parto. El único tratamiento efectivo consiste en mejorar su estado metabólico. Los tratamientos hormonales tales como GnRH y progestágenos no funcionan si no se resuelve primero su estado nutricional. Útero normal y quiste folicular en el ovario derecho (UN DQF IE). El quiste folicular es un folículo de más de 20 mm de diámetro con paredes delgadas. Esta es una condición patológica del ovario y obedece a una deficiencia en secreción preovulatoria de LH. Si bien estas vacas se caracterizan por presentar estros recurrentes, también llegan a presentar anestro. El tratamiento consiste en la administración de GnRH o hCG. Con ello se provocará la luteinización con la consiguiente formación de un cuerpo lúteo, el cual posteriormente sufrirá regresión natural, lo que resultará en el reinicio de su

actividad cíclica. Útero normal y quiste luteinizado en el ovario derecho (UN DQL IE). Este quiste también es provocado por una deficiencia en la secreción de LH, sólo que en este caso la deficiencia fue parcial, lo cual ocasiona cierto grado de luteinización. El quiste luteinizado es una estructura de más de 20 mm de diámetros y de paredes gruesas. En este caso el tratamiento indicado es la administración de PGF₂α. En la práctica, es difícil diferenciar un quiste folicular de un luteinizado, por lo cual el tratamiento recomendable es, primero, la administración GnRH o hCG seguido 7 días después de la aplicación de PGF₂α.

Figura 12. Principales hallazgos en el examen transrectal de vacas sin servicio en el día 60 posparto y su tratamiento.

Hallazgo	Imagen	Tratamiento
Diestro (CL)		PGF ₂ α
Proestro		Ver calor
Estro		Inseminar
Metaestro		PGF ₂ α
Anestro		Tonificar
Quiste folicular		GnRH – 7 días PGF ₂ α

3.9. La lactación

La lactancia es el proceso por el cual la madre entrega nutrientes, inmunidad (en grados variables) y componentes regulatorios del crecimiento al recién nacido. Leche es el término colectivo para esta forma de nutrición, esencial para la sobrevivencia del mamífero recién nacido. La composición de la leche es variable dependiendo de la especie, estado de desarrollo del neonato y del medio ambiente. El desarrollo mamario y el inicio y regulación de la secreción de la leche están íntimamente relacionados a la reproducción. En efecto, se puede considerar que el proceso reproductivo no está completo ni ha sido exitoso si no existe la lactación y la sobrevivencia inicial del recién nacido. Por otro lado, la lactancia es la fase del proceso reproductivo más demandante metabólicamente por la gran cantidad de nutrientes que se requieren para satisfacer las necesidades de mantención y crecimiento del neonato.

En esta presentación me referiré en especial a los procesos que controlan la producción de leche, en primer lugar a la lactogénesis y su control, en segundo lugar a la lactancia y su control, en tercer lugar a la expulsión de la leche y su control y finalmente a la involución de la glándula, en particular en relación a los procesos que se presentan en la vaca.

3.10. Control de lactogénesis

Lactogénesis es el inicio de la síntesis y secreción de la leche por las células epiteliales de los alvéolos mamarios. En general se acostumbra a dividirla en 2 fases:

- La fase 1 consiste en una diferenciación estructural y funcional limitada del epitelio secretor durante el último tercio de la preñez.
- La fase 2 corresponde a la completación de la diferenciación del epitelio secretor durante el periodo periparto, coincidente con el inicio de una intensa y copiosa síntesis y secreción de la leche.

Para entender el proceso de lactogénesis, revisaré brevemente el proceso de crecimiento de la glándula mamaria (GM), ya que el tratamiento más detallado de estos conocimientos se han descrito extensamente descritos en anatomía, histología y embriología de la GM, en este mismo curso.

La glándula mamaria es una glándula sudorípara modificada de origen ectodermal. La estructura básica y su localización se establece durante el desarrollo embrionario. Su número puede variar de 2 a 18. Se ubican en el tórax (humanos, elefantes), en la ingle (vacas y rumiantes), en el abdomen (ballena), o cubriendo las superficies ventrales del tórax y abdomen (ratas, conejos, perros, gatos, cerdos). La estructura microscópica es muy similar en todas las especies. La leche se sintetiza y se secreta por las células epiteliales que rodean los alvéolos mamarios en una capa única. Estas células secretorias están rodeadas por células mioepiteliales, que tienen, al igual que las células musculares, la

propiedad de contraerse como una parte importante del proceso de eyección de leche. Por debajo de las células epiteliales se encuentra la membrana basal. A continuación de la membrana basal se encuentra una extensa red capilar, la cual entrega las sustancias para la síntesis de la leche. Rodeando el tejido glandular, o parénquima, se encuentra una matriz de tejido adiposo y conectivo, el estroma. Este tejido además de tener un papel como tejido de soporte, tiene un rol importante en el funcionamiento y crecimiento del tejido glandular. El tamaño del estroma influye en algunas especies en el tamaño de la glándula ya que los conductos mamarios se desarrollan en el estroma.

Desarrollo Fetal

El desarrollo de la glándula mamaria empieza en la piel del feto por migración de las células ectodermales para formar el par de botones mamarios hacia la posición que ocupará la glándula madura. Estas células se dividen para formar cordones de células que se dirigen hacia la dermis. El número de estos cordones va a determinar el número de conductos primarios que se abrirán en el pezón: uno en los rumiantes y hasta 20 en la mujer. La ramificación y canalización es muy escasa hasta el nacimiento. No obstante, la cisterna de la ubre bovina ya es visible en el feto de 4 a 5 meses. La testosterona del feto es la responsable de la masculinización de la gl. Mamaria, de allí el dimorfismo sexual que muestra la glándula. El ovario en los fetos femeninos no tiene un tiene influencia en el proceso de crecimiento fetal de la glándula.

Desarrollo Post Natal

En el periodo prepuberal, la glándula crece a una tasa mayor que el crecimiento corporal (crecimiento alométrico). En los rumiantes, el crecimiento de la glándula es diferente a otras especies y se asemeja más al de la mujer que al de otros mamíferos. El crecimiento es principalmente estromal y de elongación de los ductos. El crecimiento del sistema de ductos ocurre ligeramente más rápido que el crecimiento del cuerpo hasta los 2 meses de edad. De los 3 a los 9 meses, y empezando 3 meses antes del inicio de los ciclos estrales, se inicia una fase de crecimiento rápido con un factor de alometría superior a 3. Después de los 9 meses, la tasa de crecimiento se reduce y continua isométricamente hasta la edad de 1 año. El crecimiento de la glándula solo se completa durante la preñez, con mayor formación de lóbulos de alvéolos que reducen el estroma a pequeñas bandas de tejido. El crecimiento de la glándula mamaria puberal es estimulada por el aumento de estradiol. Aparentemente, la PRL no tendría mayor acción biológica en este estado del desarrollo. Por el contrario la GH sería la hormona esencial para que el proceso tome lugar. Algunos antecedentes que respaldan esta suposición son los siguientes: El receptor de GH está presente en el tejido mamario y la unión de la GH a su receptor es el factor sinergizante con el estradiol para estimular la formación de los botones terminales. Por otro lado, la GH estimula la producción de IGF-I en el tejido mamario, y se necesita IGF-I para que el estradiol tenga efecto. El estradiol por si solo no es capaz de inducir síntesis de IGF-I en la

G.M. El efecto de la GH sobre el IGF-I se produce en el tejido estromal, y el IGF-I tiene un efecto paracrino sobre el desarrollo de los botones terminales.

El proceso de lactogénesis se inicia alrededor de la mitad de la preñez. Este proceso se conoce como lactogénesis fase I. En este estado, se produce la diferenciación y crecimiento de las células epiteliales y la diferenciación bioquímica y estructural de las células. Por ejemplo, la síntesis de lactosa depende la enzima lactosa sintetasa, la cual permite la unión de la glucosa y la galactosa para formar lactosa. La lactosa sintetasa se forma en un complejo entre la galactosiltransferasa y la lactoalbúmina. Pero la activación completa del gen de la α -lactoalbúmina para la síntesis de α -lactoalbúmina solo se logra en el momento que se inicia la fase 2 de la lactogénesis. Precisamente, la presencia de la α -lactoalbúmina en el suero sanguíneo es una medida indirecta de la presencia de esta fase. Por ejemplo en vacas de leche en su primera preñez, las concentraciones de α -lactoalbúmina son indetectables hasta el día 200 preparto. Luego, se inicia un aumento a partir del día 120 preparto, es decir, inicio de fase I, y un segundo aumento exponencial, alrededor de los 15 días preparto, vale decir durante la fase 2 de la lactogénesis.

Este proceso de lactogénesis está controlado por hormonas sistémicas y por factores de crecimiento locales. Las hormonas que controlan el crecimiento lobuloalveolar son estrógenos, progesterona, corticoides adrenales, prolactina, hormona del crecimiento, insulina y hormonas tiroideas y en algunas especies, el lactógeno placentario. Entre los factores de crecimiento se encuentran los IGF I y II, y el factor de crecimiento epidérmico (EGF), el factor de crecimiento de los fibroblastos (FGF), y el factor de crecimiento de transformación Beta (transforming growth factor- β , TGF- β).

La activación de los genes para la producción de leche empieza en esta fase I, pero las altas concentraciones de progesterona impiden que la síntesis de leche sea muy activa. No obstante durante la fase I, se acumula una secreción en el lumen alveolar rico en proteínas y en inmunoglobulinas llamado calostro.

Una vez que la progesterona cae en el parto o antes del parto, se inicia la lactogénesis fase 2. Esta se inicia algunas horas antes del parto, las células secretorias rápidamente aumentan su tasa sintética lo que determina que grasas, proteínas y lactosa se secretan rápidamente al lumen alveolar. Esto causa el típico engrosamiento de la glándula al parto. En humanos la fase 2 de la lactogénesis se produce después del nacimiento.

Indices de Lactogénesis

Algunos de los índices de la lactogénesis en el tejido mamario incluyen: aumento en la síntesis de metabolitos, enzimas, de mRNA asociado a la secreción de caseína, lactosa, α -lactoalbumina y citratos. También se puede mencionar la diferenciación de organelos en el epitelio mamario, y la aparición histológica de secreción en el tejido mamario.

3.11. Metabolismo energético en la vaca lactante

Se ha demostrado que los 2 principales reguladores de la diferenciación estructural son la prolactina y los glucocorticoides. La prolactina estaría asociada a la diferenciación y maduración del aparato de Golgi y los glucocorticoides con el desarrollo del retículo endoplásmico. Sin embargo, a pesar de la continua presencia en la sangre de estas 2 hormonas, no se avanza hacia la fase 2 hasta que desciende la progesterona. La fase 2 de la lactancia depende de la prolactina, glucocorticoides, hormona del crecimiento y estradiol.

Un gran número de estudios ha mostrado cambios en las concentraciones plasmáticas de estas hormonas en correspondencia con el parto. En vacunos, hay aumentos consistentes en la prolactina por varios días antes del parto y aumentos agudos de glucocorticoides en estrecha asociación con el parto. Las concentraciones de estradiol aumentan progresivamente durante la preñez hasta alcanzar un máximo unos pocos días antes del parto. En cambio, la progesterona desciende abruptamente 3 a 4 días antes del parto. Estos cambios en las hormonas circulantes se asocian con aumentos en la cantidad de receptores para PRL, IGF-I y cortisol durante la preñez tardía en la G.M, en cambio los receptores para progesterona descienden. Las variaciones en las concentraciones plasmáticas así como en la cantidad de receptores en la glándula mamaria en los factores de crecimiento IGF-I y II también sirven para regular la fase 2.

Prolactina. La acción biológica de la prolactina en la lactogénesis se realiza a través de sus receptores. El número de receptores cambia en paralelo con la secreción basal de PRL. El número de receptores permanece relativamente constante durante la mayor parte de la preñez con un abrupto aumento que coincide con la intensa secreción de leche durante la segunda fase de la lactogénesis.

El receptor de PRL comparte muchas características con el receptor de GH. Ambos pertenecen a la superfamilia de receptores de las citocinas. El primer receptor de PRL clonado correspondió a una proteína de 291 aa., con un dominio extracelular de 210 aa, un dominio transcelular de 24 aa y un dominio intracelular de 57 aa. Posteriormente, se aisló otra isoforma con una cola citoplasmática más larga, de 358 aa. La primera se designó como forma pequeña y a la otra como forma larga. Además, existen proteínas solubles que unen PRL, que se derivan de los receptores de membrana o por rompimiento alternativo de la proteína inicial codificada por el gen. Basados en la características estructurales de los receptores de PRL y GH, se consideró que pertenecían a familias diferentes. Hoy se acepta que pertenecen a una sola familia llamados receptores de citocinas clase I. Esta nueva superfamilia incluye receptores para varias interleukinas, el factor estimulante de los granulocitos, el factor inhibidor de la leucemia, la oncostatina, la eritropoyetina, la trombopoyetina y la leptina. Todos estos receptores comparten similitudes en sus mecanismos de activación y de transducción de la señal. Entre estas similitudes se encuentra el hecho de que la activación del receptor

necesita de su dimerización. Posteriormente, se activa JAK-2, una tirosin-kinasa de la familia de las kinasas Janus. También se ha propuesto se activa otra kinasa denominada Src. La activación de la JAK-2 permite la fosforilación del receptor y esto permite la unión de las proteínas STATS (Signal Transducer and Activator of Transcription) al receptor. Una vez unidos, las STATS son fosforiladas por las kinasas Janus, se separan del receptor, se dimerizan y se traslocan al núcleo donde interactúan y activan elementos específicos del DNA que se encuentran en los promotores de los genes activados por las citocinas, por ejemplo, el gen de la síntesis de la b-caseína. De hecho, la mayor función intracelular de la PRL es estimular la síntesis de caseína. Basados en el hecho de que los receptores para PRL y GH comparten una serie de similitudes se ha propuesto que las acciones de una hormona pueden ser mimetizadas por la otra. Sin embargo, eso significaría demostrar que existen receptores para PRL y GH en las células epiteliales. Dado que se ha demostrado la presencia del mRNA por hibridación in situ para el receptor de GH en el tejido mamario, en las células epiteliales secretorias de la vaca, se ha abierto la posibilidad de que la GH también ejerza efectos en el tejido secretor.

La PRL es necesaria para la lactogénesis. El bloqueo de su secreción con bromocriptina, trae como resultado una disminución del 45 % de la producción de leche durante los primeros 10 días de la lactancia a pesar de un bloqueo casi total de la secreción de PRL. La producción de leche se restablece a niveles normales a pesar del bloqueo de la secreción de PRL a medida que la lactancia avanza. No obstante, se observa una disminución concomitante con la reducción en la producción de leche, en la síntesis de a-lactoalbúmina, lactosa y grasas de la leche, así como en la diferenciación del epitelio alveolar. Se acepta entonces que la PRL es esencial para el desarrollo máximo de la lactogénesis pero que otros mecanismos contribuyen al proceso.

Glucocorticoides. El cortisol es necesario para la diferenciación del retículo endoplásmico rugoso y del aparato de Golgi. Esta diferenciación es esencial para la acción de la prolactina en la inducción de la síntesis de caseína. Por lo tanto, se acepta que el cortisol es necesario para sinergizar con la PRL para iniciar el proceso de lactogénesis. Durante la gestación el cortisol permanece muy bajo hasta que aumenta rápidamente hacia el parto. A esto se une el hecho de que la CBG- (proteína que une al cortisol)- disminuye en el período preparto, lo cual permite más cortisol libre. Además la CBG se encuentra en el tejido mamario. Todos estos mecanismos permiten aumentar el cortisol libre alrededor del parto lo que se acompaña de una mayor captación de cortisol por la G.M previo al parto. Se ha propuesto que el complejo cortisol-receptor interactúa con los genes que regulan la síntesis de a-lactoalbúmina.

Estrógenos. El aumento de estradiol puberal y el de la primera preñez es necesario para que las células epiteliales respondan posteriormente a la PRL y a los glucocorticoides. En la vaca, los estrógenos aumentan lentamente durante la mayor parte de la preñez, con un aumento importante días previos al parto, coincidente con la lactogénesis. Durante la

preñez, el estradiol se une principalmente a las células epiteliales y una pequeña cantidad al estroma. El rol del estradiol en el inicio de la lactancia ha quedado demostrado en varios estudios donde la administración exógena de pequeñas concentraciones de estradiol y progesterona por solo 7 días a vacas no lactantes y no preñadas induce la secreción de leche, con una producción de más del 60% en comparación a grupo control o las lactancias previas. Se acepta que el probable mecanismo de acción del estradiol en este sistema artificial se relaciona con la estimulación de la secreción de PRL y cortisol y con el efecto sinérgico del estradiol con PRL y cortisol en las células epiteliales en la síntesis de α -lactoalbúmina.

3.12. Mantenimiento de la producción de leche

Una vez que termina la lactogénesis, la glándula mamaria está competente anatómicamente y bioquímicamente para sintetizar y secretar leche. La capacidad de la G.M. para secretar grandes cantidades de leche empieza en el periodo postparto temprano, aumenta por un periodo de tiempo variable y luego decrece.

Tres tipos de estímulos se necesitan para mantener la lactancia: estímulos que mantienen el número de células secretoras, estímulos que mantienen la capacidad secretoria y estímulos asociados con la remoción de la leche. Todos ellos dependen del control hormonal de la lactancia.

Las hormonas que controlan la mantención de la lactancia son: prolactina, GH, glucocorticoides, T3 y T4, insulina y PTH. Las hormonas más importantes tienen un efecto claro sobre la partición de los nutrientes hacia la GM. Se ha calculado que durante la lactancia temprana, las reservas corporales aportan casi un 33% de la energía en la producción de leche.

Prolactina. La PRL se secreta en forma aguda en respuesta al amamantamiento y a la ordeña mecánica. La secreción es máxima durante el peak de la lactancia, y su secreción se correlaciona fuertemente con la producción de leche. En forma experimental se ha demostrado en vacas que el cambio en el fotoperíodo de uno de días cortos a otro de días largos, aumenta la PRL plasmática y esto va acompañado de un 6 al 10% de aumento en la producción de leche. Por otro lado, algunos experimentos in vitro con tejido mamario de vacas lactantes han mostrado que la captación de PRL aumenta con la lactancia temprana, cuando se alcanzan los máximos de producción. La mayor captación de PRL coincide también con la secreción aguda ejercida por la ordeña o por la estimulación con TRH. Aunque estos datos sugieren un rol de la PRL en la mantención de la lactancia, se ha demostrado que la administración a vacas lactantes de un antagonista de dopamina, la bromocriptina, a pesar de producir una caída en las concentraciones plasmáticas de PRL, no redujo la producción de leche. Por lo tanto, se considera que la PRL tiene un rol secundario en la mantención de la lactancia.

GH. Durante los últimos años se ha acumulado una sólida cantidad de datos experimentales que muestran el evidente rol primario de la GH en la mantención de la lactancia. Las acciones biológicas directas de la GH en la lactancia están relacionadas principalmente con la coordinación de los procesos metabólicos. La GH causa un aumento moderado en la gluconeogénesis hepática, en forma paralela con el aumento de la demanda de glucosa por la glándula mamaria. Este efecto dependería de una disminución en la capacidad de la insulina para inhibir la gluconeogénesis. La GH es además un inhibidor potente de la utilización de glucosa y de la lipogénesis estimulada por insulina. Esto explicaría la insulino-resistencia que se observa durante la lactancia temprana. Además, la GH aumenta la capacidad de las catecolaminas para aumentar la lipólisis. La GH también reduce la captación de glucosa por los músculos, lo que se produciría bloqueando la acción de la insulina en el músculo. Adicionalmente, la resistencia insulínica inducida por la GH podría influir en la movilización de aminoácidos después del parto. Esto también dependería de la antagonización del efecto antiproteolítico que tiene la insulina sobre el músculo. Por otro lado, aunque la GH no alteraría la concentración en el mRNA de transportador de glucosa GLUT1 en el tejido mamario, el aumento de la captación de glucosa sería derivado fundamentalmente del aumento en el riego sanguíneo producido por la GH.

Los efectos indirectos de la GH sobre la lactancia dependerían de los IGF. Estos efectos corresponden principalmente a un aumento en la tasa de síntesis de leche por célula, así como también en el mejoramiento en la mantención de las células mamarias.

En resumen, la GH modifica el riego sanguíneo a la glándula mamaria, lo que permite la entrega de los nutrientes precursores de la síntesis de grasa, proteínas y lactosa de la leche. Para que la provisión de los precursores críticos de la síntesis de leche estén disponibles, la GH debe reducir el consumo de glucosa por otros tejidos como músculo y tejido adiposo, debe aumentar la gluconeogénesis usando propionato y glicerol, debe reducir la lipogénesis con lo que una mayor cantidad de ácidos grasos libres pueden ser utilizados como fuente de energía por los tejidos, o usados en la producción de leche. Además, la GH aumentaría el número de células o evitaría la apoptosis, función en la que los IGF-s y sus proteínas ligantes serían los intermediarios.

Cortisol. Se acepta que el cortisol es necesario para una adecuada lactancia. Algunas evidencias muestran que el cortisol aumenta al doble entre los periodos de no lactancia y lactancia. La captación de cortisol por la GM aumenta más del doble con la lactancia, y el aumento se asocia con el aumento en la secreción de cortisol inducida por la ordeña. Esto se asocia con la observación que los sitios de unión para cortisol aumentan al doble con la lactancia. Los cambios tanto en la captación de cortisol como en los sitios de unión, se correlacionan con la captación de glucosa.

Requerimientos de la Producción de Leche

Entre los límites a la producción de leche se pueden citar 2 grandes factores: extrínsecos: construcciones, manejo y dieta. Intrínsecos: genéticos, tamaño corporal, ingestión de alimentos, metabolismo y su regulación, fisiología del tracto digestivo, hígado y glándula mamaria. La velocidad de las enzimas en la glándula mamaria es mayor que la tasa de secreción de leche, por lo tanto, las enzimas no son limitantes. Esto supone que la disponibilidad de los nutrientes como el factor de limitación de secreción.

La glándula mamaria requiere para la síntesis de leche, agua, glucosa, aminoácidos, acetato, 3-hidroxiacetato y ácidos grasos de cadena larga. De estos, el acetato y los aminoácidos se absorben directamente desde el intestino y el 3-hidroxiacetato se forma por la conversión del butirato durante la absorción desde el intestino y el paso a través del hígado. La cantidad de glucosa absorbida es muy baja, ya que la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta son fermentados a ácidos grasos volátiles (AGV). La mayor parte de la glucosa se obtiene por gluconeogénesis a partir de propionato en el hígado. Este es un proceso crítico en la producción de leche. Los ácidos grasos de cadena larga (AGCL) se absorben desde el intestino pero la provisión de ellos está limitada debido a las pequeñas cantidades de grasas y aceites en la dieta convencional de las vacas, aunque hay evidencia de síntesis de AGCL por microorganismos del rúmen. Sin embargo, la cantidad absorbida está por debajo de los requerimientos y si se desea maximizar la síntesis de leche este es un punto crítico. Así durante, la lactancia temprana, el tejido adiposo de la vaca es la fuente importante de ácidos grasos de cadena larga y los mecanismos metabólicos endocrinos que influyen en la lipólisis asumen una importancia destacada como límites potenciales de la síntesis de leche.

Obtención de la glucosa para la producción de leche

La glucosa es el factor crítico de la producción de leche. La glucosa se requiere para la síntesis de lactosa, glicerol, para entregar los equivalentes de reducción en la forma de NADPH para la lipogénesis. La cantidad de glucosa para la G.M. está dada por la cantidad de glucosa disponible a todo el organismo menos aquella usada por otros tejidos. Estudios de infusión de glucosa directamente en la circulación mamaria muestran una correlación lineal entre aporte de glucosa y producción de leche. La curva de regresión muestra que se produce un Kg de leche por cada 72g de captación de glucosa. La captación de glucosa se realiza con el transportador GLUT1. El GLUT1 es escasamente dependiente de la insulina, en contraste con el GLUT-4. La captación de glucosa por la GM es relativamente independiente de la glicemia arterial ya que el transporte se regula en gran medida por las demandas de la GM. Este sistema es análogo al transporte de glucosa en el cerebro, que también depende del GLUT-1. La vaca, así como otros rumiantes, depende casi exclusivamente de la gluconeogénesis en el hígado y en pequeña proporción en los riñones, para satisfacer sus requerimientos de glucosa. Desde este punto de vista, la

gluconeogénesis es un proceso sumamente importante ya que las demandas de glucosa pueden aumentar hasta en 4 veces en la vaca lactante.

Tal como se mencionó, la mayor parte de la glucosa disponible para la GM proviene de la gluconeogénesis del ácido graso volátil propionato, metabolizado en el hígado. El propionato se produce por fermentación ruminal y se absorbe por el epitelio ruminal, luego pasa a la sangre portal y se capta casi completamente por el hígado. La tasa de producción de propionato y otros AGV en el rúmen está directamente relacionado a la ingesta de sustratos fermentables, en especial fermentación de almidones por las bacterias amilolíticas. Como la concentración de propionato disponible para el hígado, es el determinante principal de la síntesis hepática de glucosa, en los rumiantes, la producción de glucosa total está altamente correlacionada con la ingesta de energía digestible. Si la disponibilidad de propionato disminuye, la importancia de otros sustratos glucogénicos aumenta (como ser lactatos, aminoácidos, glicerol).

Las hormonas que intervienen en el control de la gluconeogénesis a partir de propionato y el control de su secreción está parcialmente caracterizado en rumiantes. La infusión intravenosa de propionato estimula la secreción de glucagon e insulina.

El glucagon es una de las hormonas que estimula la gluconeogénesis a partir de propionato. Por lo tanto, el propionato que llega hasta el páncreas en cantidades adecuadas podría estimular la secreción de glucagon e insulina y estimular la gluconeogénesis.

La utilización de glucosa para lipogénesis es escasa en los tejidos de rumiantes. Sin embargo, la utilización de glucosa y acetato por el tejido adiposo puede ser estimulada por la insulina. Esta hormona tiene un importante efecto antilipolítico en vivo. La insulina es el mayor regulador de la utilización de glucosa y del metabolismo anabólico en general, aunque las concentraciones plasmáticas de glucosa pueden no ser un estimulante eficaz de la secreción de insulina.

La insulina tiene efectos inhibitorios en la gluconeogénesis y en la salida de glucosa del hígado. La insulina se secreta en mayor cantidad en respuesta a la ingestión, el aumento es mayor con concentrados que con forrajes, aunque ambos tengan la misma energía digestible. Debido a los efectos inhibitorios de la insulina en la gluconeogénesis y en la salida de glucosa, este efecto debe ser anulado o sobrepasado durante el período postprandial por la secreción de glucagon y por la disponibilidad de sustratos. Esto permitirá la mantención de la conversión hepática de sustratos gluconeogénicos a glucosa y por lo otro lado permitirá la maximización de los efectos anabólicos de la insulina. El aumento postprandial de insulina ocurre simultáneamente con el de glucagon por lo que la tasa glucagon/insulina se mantiene. Sólo en los casos de stress, el glucagon aumenta y la insulina disminuye.

La insulina está asociada a muchos procesos que desvían la energía para la síntesis de leche hacia los tejidos, Así la concentración plasmática de insulina es más alta en animales de baja producción lechera al compararla con la que presentan animales de producción normal. Administración de insulina a vacas lactantes baja la producción de leche.

La concentración plasmática de insulina depende del estado energético de la vaca. La insulina cae en animales hambrientos, es baja antes de la ingestión de alimentos y aumenta hasta seis veces las concentraciones basales después de una comida. Habría una relación entre insulina liberada y cantidad de energía dietaria consumida. Se ha sugerido que los AGV absorbidos del rúmen serían los estímulos para la secreción de insulina. Por otro lado, el aumento de glucosa después de la alimentación también sería un estímulo aunque generalmente la insulina cambia en dirección opuesta a las concentraciones plasmáticas de glucosa, por lo que es posible que otros estímulos y no la hiperglicemia sean los que promuevan la liberación de la insulina. La infusión de mezclas de AGV ha ayudado a definir el efecto de estos sustratos en la secreción de insulina llegando a la conclusión que la infusión de AGV, provoca una respuesta liberadora de Insulina similar al producido por la alimentación de concentrados, y que el propionato es el mayor regular de la secreción de Insulina.

3.13. Enfermedades de la glándula mamaria

La mastitis bovina es una enfermedad infecto-contagiosa de la glándula mamaria, en la cual la inflamación se produce como respuesta a la invasión, a través del canal del pezón, de diferentes tipos de bacterias, micoplasmas, hongos, levaduras y hasta algunos virus. Sin embargo, las bacterias de los géneros *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Corynebacterium* y algunos gérmenes Gram -, son responsables de más del 90 % de los casos clínicos y subclínicos. La enfermedad puede cursar como subclínica (la de mayor prevalencia en un rodeo) o como clínica, con alteraciones macroscópicas de la leche y síntomas palpables de la ubre y, a veces, de tipo sistémico en todo el animal. Clásicamente se la ha definido como una “enfermedad polifactorial”, porque el riesgo de infección depende de la habilidad de la vaca para rechazarla, del tipo, número y patogenicidad de las bacterias presentes en un rodeo y, fundamentalmente, de las condiciones de medio ambiente y del manejo en general y del manejo del ordeño en particular que se estén desarrollando en un establecimiento. Las bacterias que pueden producir mastitis sobreviven en diferentes nichos ecológicos, difiriendo por lo tanto en su mecanismo de transmisión e infección y en la facilidad con la cual pueden ser controladas. *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus agalactiae* están fundamentalmente asociados a ubres infectadas, lesiones de los pezones y colonización del canal del pezón, transmitiéndose de vaca a vaca y de cuarto a cuarto al momento del ordeño o poco después. Estas infecciones se controlan bien por la aplicación sistemática y continua del llamado “plan de los 5 puntos”. Los llamados “patógenos ambientales” (en especial coliformes, *Streptococcus uberis* y *Pseudomona*

aeruginosa), están ampliamente diseminados en los lugares donde viven los animales, en especial si están húmedos (barro) y/o con un alto contenido de materia orgánica (materia fecal, restos de alimentos como silajes o granos húmedos, etc.). Este tipo de infecciones ocurren por lo general entre los ordeños y especialmente en el período de vaca en transición (tres semanas pre-parto a 4 semanas post-parto), siendo más difíciles de controlar por el plan de los 5 puntos, ya que son menos eficientes la antibioterapia de los casos clínicos, la antibioterapia al secado y la desinfección de pezones post-ordeño, siendo más importantes las medidas higiénicas pre- e intra-ordeño, así como la desinfección de pezones pre-ordeño. De los denominados “patógenos menores”, *Corynebacterium bovis* es el único que suele estar asociado con glándulas mamaria infectadas y se difunde fácilmente entre vacas y cuartos. El mecanismo de transmisión e infección en el caso de los *Staphylococcus ssp. coagulasa -*, es menos claro, ya que algunos investigadores los consideran sólo como comensales de la piel y el canal del pezón, con escasa capacidad de infectar los tejidos glandulares altos. Es frecuente encontrar canales del pezón colonizados por *Staphylococcus ssp. coagulasa -* en vaquillonas antes de su primer parto, por lo que se considera que no es el ordeño el momento principal donde ocurren las nuevas infecciones. En los últimos años, en distintos países se han aislado también micoplasmas (generalmente *Mycoplasma bovis*), tanto de casos de mastitis cónicas agudas como de mastitis subclínicas crónicas, habiéndose detectado también portadores asintomáticos en los rodeos. Lo difícil de su diagnóstico (que requiere de medios de cultivo especiales para su aislamiento) y la ineficacia de los antibióticos en su tratamiento, lo convierten en un enemigo temible si se detecta su presencia en un rodeo, ya que sólo muy rigurosas medidas higiénicas y la eliminación de las vacas positivas, son las medidas conocidas para controlarlo. Una cantidad de estudios epidemiológicos revelan que las ubres de las vacas secas y en lactancia están permanentemente expuestas a millones de bacterias Gram- y transportan miles de patógenos potenciales en su piel y superficies mucosas. Pese a ese enorme desafío, el número de infecciones intramamarias es bajo en comparación con las que producen las bacterias Gram +. Esto se debe a la muy corta duración de las infecciones por Gram -, que generalmente cursan como mastitis clínicas, desapareciendo las bacterias de la glándula mamaria en cuestión de días, pero quedando los efectos de la respuesta inflamatoria. En promedio, se ha estimado que sólo el 1 % de los cuartos mamarios de un rodeo tienen infecciones por bacterias Gram -, comparado con una tasa del 35-50 % por bacterias Gram +, en un mismo lapso de tiempo. Así, se ha estimado que se requieren 2000- 4000 ordeños para observar una infección mamaria por bacterias Gram -, mientras que la frecuencia de infecciones por bacterias Gram + es de 1 por cada 600-800 ordeños. Sin embargo, las infecciones por Gram - son responsables del 30 al 50 % de todos los casos clínicos ocurridos anualmente en un rodeo.

3.14 Parámetros reproductivos

El objetivo del manejo reproductivo en hatos bovinos, que se genere una producción máxima de la vida productiva de individuo en la ganadería. Por tal razón es importante determinar eventos y parámetros que permitan conocer y predecir la eficiencia reproductiva y determinar los causales de la infertilidad individual como colectiva (Gonzalez, 1985; Sánchez, 2010)

La eficiencia reproductiva (ER) constituye un complejo con diferentes formas, expresiones e interpretaciones de la vida, fisiología y comportamiento de la reproducción, y además es un término que relaciona estas actividades desde del inicio de la pubertad y que se manifiesta con la correcta ciclicidad de la hembra, la adecuada producción de espermatozoides en el macho, y los eventos consecuentes del apareamiento de individuos como la gestación y el parto. Existen diferentes definiciones de ER como a) la capacidad de servir una hembra en el menor tiempo posible después del parto empleando el menor número de inseminaciones posibles o monta natural (González, 2001) o b) la medida que se emplea en la ganadería, consecuencia de la evaluación de individuos mediante registros rigurosos permiten concluir el desempeño del lugar (Casares & Retamoza, 2003). En particular en bovinos se considera que cuando una hembra bovina se encuentra bajo condiciones favorables, puede producir un ternero anual con intervalos entre partos de 12 meses, con concepciones entre los 75–85 días posparto. Sin embargo, en Colombia, en las ganaderías se presentan altas incidencias de anestro posparto, que incrementan los tiempos entre parto a concepción o a parto, con efectos negativos sobre la fertilidad (Salgado & González M. 2007).

Las ganaderías de carne, leche o doble propósito desarrollan y ejecutan planes de manejo reproductivo para optimizar el tiempo entre procesos reproductivos durante la vida reproductiva y productiva de las vacas y machos. Los registros son importantes para parámetros de rendimiento productivo y reproductivo, para hallar problemáticas y tomar decisiones oportunas y efectivas, más aun cuando las implicaciones económicas son evidentes (Mariscal et al., 2016).

Un requisito indispensable para conocer la eficiencia reproductiva es la adopción y adecuada utilización de Registros Reproductivos, aspecto que en la mayoría de explotaciones es deficiente y solo en muy pocas de ellas suelen ser utilizados. La entrada de datos irregular para los diferentes eventos reproductivos disminuyen la calidad del cálculo de la eficiencia reproductiva disminuyendo la posibilidad de tomar las decisiones correctas (Gonzalez, 1985).

Los parámetros reproductivos (individual – lotes) se obtienen mediante el registro de eventos como a) la pubertad, b) primer servicio, c) primer parto, d) peso, e) tiempo entre el parto al primer estro, f) tiempo del primer servicio, g) tiempo entre partos y el registro

de factores ambientales (temperatura, humedad, exposición a la luz) nutricionales y sanitarios (Sánchez, 2010; Arce et al., 2017).

En bovinos los parámetros reproductivos para hembras se clasifican según 1) precocidad sexual: edad a la pubertad (EP) y edad al primer servicio (EPS) y 2) fertilidad: edad y peso al primer servicio (EPPS), servicios por concepción (SC), gestaciones interrumpidas (GI), edad al primer parto (EPP), días del parto a primer servicio (DPPS), intervalo parto-concepción (IPC), tasa de concepción (PC), servicios por concepción (SPC) y tasa de preñez. Los parámetros para machos son circunferencia escrotal (CE), edad a la primera monta, edad inicio de colecta y edad de colectas de buena calidad espermática, edad de preñez. Si bien puede existir relación parámetros, no siempre serán positivos ni estarán correlacionados, por el contrario un largo IEP indica baja fertilidad o un DPPS temprano significa mejor fertilidad (González, 2001).

Entre los factores que afectan los parámetros reproductivos se encuentran género, raza, ambiente, nutrición y tipo de producción (extensivos, semi-intensivos e intensivos) (Morales, D; Pérez, B; Botero, 2009). En términos de raza existen diferencias entre *Bos indicus* (Brahman, Gyr, Guzarat, Nelore) y *Bos taurus* (Angus, Hereford, Simmental, Charoláis) incluyendo razas criollas (Romosinuano, Sanmartinero, Blanco orejinegro, Hartón del valle), en donde las razas taurinas, criollas y cruces (*Bos taurus* x *Bos indicus*) presentan parámetros reproductivos diferentes, afectado por la rusticidad y adaptación de las razas (Grajales et al., 2006). La nutrición es un factor esencial al condicionar los aspectos fisiológicos reproductivos que condicionan la fertilidad (Crowe et al., 2018). Fallas en la fertilidad reflejan aumento de días abiertos, abortos, mortinatos e infertilidad (Ghoribi et al., 2017) representado en pérdidas económicas (Chamba et al., 2017). Por lo anteriormente expuesto el objeto de este trabajo es presentar un compilado de los parámetros reproductivos más frecuentes en nuestras condiciones.

3.15. Otros conceptos asociados a la eficiencia reproductiva

El desempeño reproductivo del hato refleja de cerca su salud reproductiva.

En otras palabras, ya sea que el objetivo de selección sea incrementar la producción de leche o mejorar la conformación (de la ubre y patas por ejemplo), una alta eficiencia reproductiva le permite al hato ganar superioridad genética a mayor velocidad. Esto significa que los beneficios de comprar semen de un toro seleccionado de alto precio para inseminación artificial, serán mayores en hatos con desempeños reproductivos excelentes.

Otro aspecto del manejo reproductivo es el de darle al productor lechero el control sobre el patrón de partos a lo largo del año. En hatos con buena reproducción, la época

de parto puede ser controlada parcialmente debido a que vacas con un intervalo entre partos promedio de 12.5 meses paren Aproximadamente en el mismo período todos los años. Algunas veces, un patrón de partos uniforme a lo largo del año es deseable. Aún así, altos precios en la leche, alta disponibilidad de forraje y otros factores (estilo de vida del productor lechero) pueden hacer que se prefiera incrementar el número de partos en una época determinada del año. El sistema de explotación lechera de Nueva Zelanda es un ejemplo de este tipo de manejo. Generalmente, las vacas son tratadas con hormonas para sincronizar el estro y la inseminación. Todos los partos se producen en el comienzo de la primavera cuando el crecimiento de las nuevas praderas puede mantener mejor los requerimientos nutricionales de las vacas al comienzo de la lactancia.

En este capítulo se utilizará un ejemplo para ilustrar lo siguiente:

Registro de los eventos reproductivos (parto, inseminación, etc.);

Cálculo de los índices reproductivos (días de vacía, intervalo entre partos, etc.) utilizando los registros de eventos;

Interpretación de los índices reproductivos para evaluar el estado reproductivo del hato lechero.

Evaluar el estado reproductivo del hato es una tarea tediosa que requiere de paciencia y consistencia. Aún así, la importancia de un manejo reproductivo efectivo no debe pasarse por alto. Un buen sistema de registros le permite al productor mirar tanto hacia el futuro, como hacia el pasado. Es crítico anticipar los eventos reproductivos a futuro de manera de cuidar de los animales adecuadamente, minimizar problemas de salud y alimentar para una producción eficiente. Por otro lado, todos los eventos pasados deben resumirse para calcular los índices reproductivos. La interpretación de estos índices le permite al administrador del hato identificar problemas, establecer metas, y monitorear los progresos hacia una alta eficiencia reproductiva. Las interrelaciones y la complejidad de los múltiples aspectos de una reproducción exitosa, hacen esencial el entendimiento, mantenimiento y uso efectivo del sistema de registros reproductivos.

LA ECUACION DE LA REPRODUCCION

Muchos de los índices utilizados para medir la reproducción se encuentran relacionados entre sí. No obstante, se pueden agrupar en cuatro áreas y su conexión puede ser

ilustrada por la ecuación de la reproducción: porcentaje de preñez = fertilidad de la vaca (%) x fertilidad del toro (semen) x eficiencia de detección de celo x eficiencia de inseminación.

En esta ecuación, el porcentaje de preñez (el número de vacas que se preñan por cada 100 inseminaciones) no es el promedio de cada factor, es el resultado de la multiplicación. La Tabla 5.1 ilustra la relación entre los factores que afectan el porcentaje de preñez. Cuando todos los factores tienen una eficiencia del 95%, el porcentaje de preñez es 81,4%.

De todas formas, si la eficiencia de cada factor cae a 70% (una caída de 25 unidades), el porcentaje de preñez cae abruptamente a 24% (una caída de 57 unidades). Por lo tanto el problema en un área del manejo reproductivo del hato puede llegar a tener consecuencias severas en el porcentaje de preñez. Por ejemplo, si la fertilidad del hato es 90%, la fertilidad del semen es 90%, y la eficiencia de inseminación es también 90%, pero detección de celo es solo 60%, el porcentaje de preñez en el hato puede ser solo 44%. Este ejemplo explica además que una alta eficiencia en un área no puede compensar una pobre eficiencia en otra. La eficiencia reproductiva del hato es tan fuerte como el eslabón más débil. Porcentaje de preñez = fertilidad de la vaca (%) x fertilidad del toro (semen) x eficiencia de detección de celo x eficiencia de inseminación.

La dificultad mejorar un pobre porcentaje de preñez en el hato es ilustrada en la Figura 5.1. Cuando los cuatro factores tienen una eficiencia del 60%, el porcentaje de preñez es solo 13%. Asumiendo que se hace un esfuerzo para mejorar la fertilidad de las vacas, y se incrementa en 35 unidades (de 60 a 95%), pero los otros tres factores permanecen sin cambios. En este caso, porcentaje de preñez se incrementa en solo ocho unidades de 13 a 21%).

Ahora digamos que la fertilidad del toro es mejorada de tal forma que los dos factores tienen una eficiencia del 60% y que los otros dos factores tienen una eficiencia del 95%; la preñez se incrementa en 12 unidades pero permanece baja (32%). Cuando la eficiencia de un tercer factor, digamos eficiencia de inseminación, se incrementa a 95%, dejando solo eficiencia de detección de celo en 60%, el porcentaje de preñez se incrementa en otras 19 unidades llegando a 51%. Es sólo cuando la eficiencia de los cuatro factores es 95%, cuando el porcentaje de preñez es mayor de 80%. Este ejemplo ilustra la dificultad de mantener un alto porcentaje de preñez en el hato debido a que un solo problema, en lo que de otra forma sería un hato muy bien manejado, puede llegar a tener un impacto negativo en el porcentaje de preñez.

Tabla 5.1: Ejemplo del efecto acumulativo de la fertilidad, detección de celo y eficiencia de la inseminación en la preñez

Factor	Hato 1	Hato 2
Fertilidad de la vaca (%)	95	70
Fertilidad del toro (semen) (%)	95	70
Eficiencia de detección de celo (%)	95	70
Eficiencia de inseminación (%)	95	70
PRENEZ (%)	81,4	24,0

Tabla 5.1

Algunos conceptos importantes acerca de la eficiencia de reproducción en el hato pueden resumirse de la siguiente forma:

- Todos los factores que influyen la reproducción deben mantenerse en una forma altamente eficiente para mantener un alto porcentaje de preñez;
- El grado de mejoramiento obtenido en el porcentaje de preñez a través del aumento de eficiencia de un factor depende de la eficiencia de los otros factores;
- Tratar de mejorar un aspecto en particular de la reproducción puede aportar pocos beneficios cuando otros factores que afectan el porcentaje de preñez tienen una baja eficiencia;
- Un solo problema en el manejo reproductivo del hato puede tener un severo impacto en el porcentaje de preñez.

FERTILIDAD DEL SEMEN Y DEL TORO

La fertilidad del toro depende de la producción de semen que contenga espermatozoides capaces de fertilizar. La circunferencia escrotal está relacionada con la fertilidad de los toros.

Eyaculaciones diarias en un buen toro durante un largo período de tiempo no producen un detrimento de la fertilidad.

De todas formas, la fertilidad del toro depende de:

- Edad y madurez sexual;
- Nutrición adecuada;
- Ausencia de enfermedades sexualmente transmitidas y otras;
- Líbido (deseo sexual).

En el caso de la inseminación artificial, la fertilidad del semen se encuentra también afectada por una adecuada dilución, procesamiento, almacenamiento y manejo del semen desde el momento de recolección hasta el momento que es depositado en el útero de la vaca.

EFICIENCIA DE DETECCION DE CELO

Una detección pobre de celo es probablemente el factor más importante que afecta la tasa de preñez en lo que de otra manera son vacas fértiles. La eficiencia en la detección de celo está compuesta por dos factores: nivel de detección y exactitud en la detección. El nivel de detección representa lo minucioso de la detección o el grado en el que el administrador del hato observa y reconoce las vacas en celo. En otras palabras, el porcentaje de detección de celo es el número de vacas detectadas en celo por cada 100 vacas que entran en celo.

La falla en observar vacas en celo es la causa más grande de problemas reproductivos debidos al mal manejo en muchos hatos. Una completa descripción de los factores que afectan los niveles de detección de celo ha sido presentada en el Capítulo 2. La exactitud de la detección puede ser medida como el número de vacas adecuadamente identificadas en celo por cada 100 vacas declaradas en celo. La exactitud de detección de celo puede ser baja debido a lo siguiente:

- El responsable del hato no está familiarizado con los signos de celo y falla en identificar correctamente la(s) vaca(s) en celo en un grupo sexualmente activo;
- El celo es detectado correctamente, el error se presenta al determinar la identidad de la vaca;
- El celo y la identificación de la vaca son reconocidos correctamente pero un error se produce al registrar el evento.
- La falla en observar vacas en celo es la causa más grande de un desempeño reproductivo pobre en muchos hatos.

EFICIENCIA DE INSEMINACION

En general, la eficiencia de inseminación es 100% cuando un toro es utilizado para servicio natural. En el caso de la inseminación artificial, por otro lado, este factor mide principalmente la habilidad del productor lechero o inseminador para:

- Determinar el momento correcto de inseminación;
- Manejar correctamente el semen congelado;
- Depositar el semen descongelado adecuadamente en la entrada del útero.

REGISTRO DE DATOS: LA COLUMNA VERTEBRAL DE UN BUEN MANEJO

Los registros son importantes para un negocio lechero exitoso. Los registros reproductivos le permiten considerar, al administrador del hato, todos los eventos (datos) que le han ocurrido a cada animal. Los registros en sí mismos tienen poca importancia.

Completar planillas para solo archivarlas no es productivo. Los registros deben ser resumidos, procesados y analizados de manera de proveer información útil. Esta información puede ser luego utilizada para:

- Evaluar el estado reproductivo del hato;
- Ayudar a investigar la infertilidad así como otros problemas;
- Establecer metas reproductivas realistas;
- Monitorear los cambios que se van realizando.

UNIDAD IV. EXAMEN DE LA CAPACIDAD REPRODUCTIVA DEL SEMENTAL E INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

4.1 Examen físico general

El desempeño reproductivo depende tanto de las hembras como de los machos, sin embargo, estos últimos tienen potencialmente mayor capacidad de producir crías. Así, durante una época de empadre a cada macho bovino se le pueden asignar desde 20 hasta 60 hembras para su reproducción, o muchas más cuando se utiliza la inseminación artificial. Es importante señalar que se estima que entre un 10 y un 20 % de los toros adultos, que son reproductores potenciales, presentan algún tipo de anomalía que interfiere con su función reproductiva. A pesar de lo anterior, la evaluación de la capacidad reproductiva de los machos no es una práctica generalizada entre los ganaderos. En esta unidad se describe la manera de evaluar la capacidad reproductiva del semental, tomando como base a la especie bovina, dado el predominio que tiene entre las especies de explotación zootécnica. Los principios generales de la evaluación son válidos para las otras especies domésticas, considerando algunas precisiones relacionadas con particularidades morfológicas del aparato reproductor y con las características del semen.

El examen de la capacidad reproductiva del macho (ECR) se indica antes de la compra o venta de un semental, con antelación a la temporada de reproducción o el empadre, y al detectarse algún problema de fertilidad en el hato. El ECR es un procedimiento relativamente rápido aunque exhaustivo, que comprende los siguientes aspectos:

- II Examen físico general
- II Examen del aparato reproductor
- II Prueba de libido y capacidad de servicio
- II Examen de la calidad del semen

La historia clínica y los indicadores obtenidos al momento de esta evaluación facultan a los técnicos, responsables de la selección de los animales, para colocar a los sementales por

encima o por debajo de los valores mínimos establecidos para las características que más afectan la fertilidad, y para definir su aptitud como sementales.

Examen Físico General

Una evaluación de la capacidad reproductiva (ECR), de un modo ideal, debería incluir un examen sistémico detallado para determinar el estado de salud general del semental, y debería aplicarse antes de proceder a cualquier otro tipo de pruebas más específicas del aspecto reproductivo. La detección de enfermedades causadas por agentes infecciosos o parasitarios es de mucha importancia al valorar a los posibles reproductores, por lo que es recomendable mantener programas preventivos para detectar padecimientos como tuberculosis, brucelosis y tricomoniasis.

Sobra decir que debe evitarse utilizar como reproductores a aquellos animales que padezcan enfermedades que alteren la función reproductiva o que impliquen un riesgo de transmisión al resto del hato o al hombre. El examen físico general debe incluir por lo menos los siguientes aspectos.

Peso y condición corporal

El peso corporal es un indicador del estado nutricional y del grado de desarrollo, que puede sugerir la existencia de problemas de manejo, como sucede con los animales de bajo peso debido a deficiencias nutricionales o con los machos cuyo peso es excesivo debido a una sobrealimentación, hecho que puede ocasionar problemas en articulaciones y patas. Las condiciones patológicas, es decir cualquier enfermedad crónica o aguda que debilite al animal, producirán también una rápida pérdida de peso. Se debe tomar en cuenta, por otra parte, que existe una correlación positiva entre el peso corporal y la talla testicular —estimada por la circunferencia escrotal— que a su vez se relaciona con la cantidad de espermatozoides que un animal es capaz de producir. La evaluación de la condición corporal se lleva a cabo mediante la apreciación visual o por palpación del volumen muscular o del grado de deposición de grasa en los tejidos (imagen 15.1), por lo que está sujeta a cierta subjetividad de la persona que la evalúa. Aunque con la experiencia y la práctica cotidiana puede lograrse un buen nivel de precisión y confiabilidad en las calificaciones. Los animales obesos o en mal estado de carnes, en general, presentan un rendimiento reproductivo deficiente, e indican una alimentación incorrecta.



IMAGEN 15.1: la evaluación de la condición corporal debe realizarse mediante la apreciación visual o por palpación del volumen muscular o del grado de deposición de grasa en los tejidos (Dr. Antonio Porras).

4.2. Examen de los órganos genitales externos e internos

El examen del aparato reproductor del macho incluye la evaluación de los órganos genitales internos (próstata, glándulas seminales y las ampollas de los conductos deferentes), así como de los órganos genitales externos (la bolsa escrotal con los testículos y sus epidídimos, el pene y el prepucio).

Órganos genitales externos

Entre los órganos genitales externos se incluye a los testículos, los epidídimos y el escroto. El examen de las características morfológicas de los testículos se efectúa por inspección visual y por palpación para determinar posición, forma, tamaño y consistencia (imagen 15.8). La palpación debe efectuarse cuidadosamente por toda la superficie testicular, incluyendo los cordones espermáticos y los epidídimos; y se requiere verificar la presencia de los dos testículos en el saco escrotal. Al respecto, el descenso testicular desde su posición intra-abdominal hasta el escroto ocurre normalmente durante el desarrollo fetal y se completa en las últimas semanas de la gestación o en las primeras semanas después del parto (cuadro 15.1). El conjunto formado por los testículos, los epidídimos y la bolsa escrotal presenta una configuración variable según el tamaño, la forma y la posición de las partes, que son particulares de cada especie. En la imagen 15.9 se ilustran dos tipos de conformación que pueden observarse en casos de testículos y escrotos normales. Los testículos con cierto grado de rotación o con una separación clara de las colas de los epidídimos no presentan ningún inconveniente para la fertilidad de los animales.

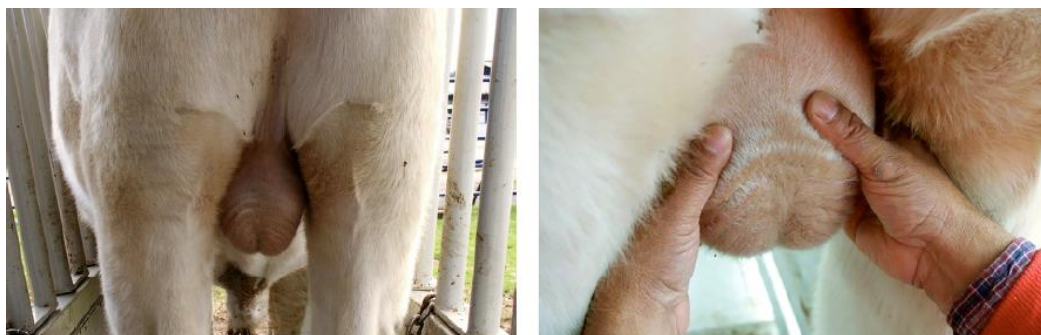


IMAGEN 15.8: el examen de los testículos se efectúa por inspección visual para determinar la posición, la forma y el tamaño de los testículos (A la izquierda); mediante la palpación se estima principalmente su consistencia (A la derecha) (Dr. Antonio Porras).

CUADRO 15.1

Periodo en que ocurre el descenso testicular en las diferentes especies domésticas.

ESPECIE	PERIODO DE DESCENSO TESTICULAR (días)
Bovina	Mitad de la gestación (100 - 105 d)
Ovina	Mitad de la gestación (75 d)
Equina	Cercano al nacimiento (30 d antes a 10 d después)
Porcina	Último tercio de la gestación (100 - 110 d)
Canina	Después del nacimiento (8 - 10 d)

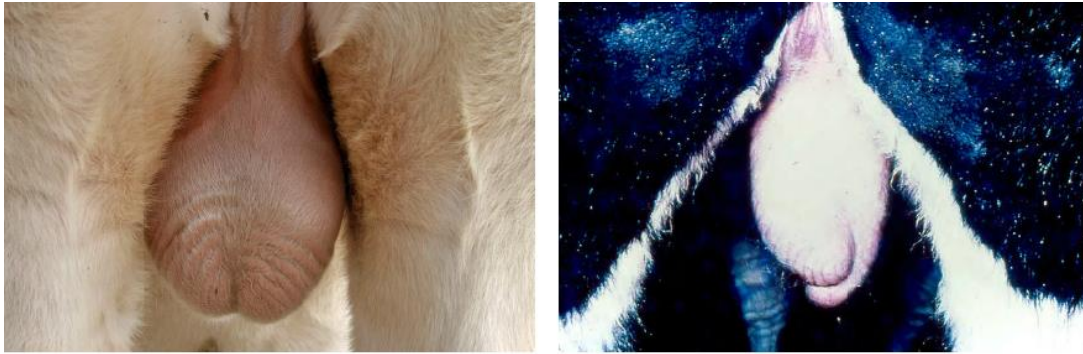


IMAGEN 15.9: ambas fotos presentan tipos de conformación que pueden observarse en testículos y escrotos normales. Los testículos con cierto grado de rotación o con una separación clara de las colas de los epidídimos (A la derecha) no presentan ningún inconveniente en la fertilidad de los animales (Dr. Antonio Porras y el Departamento de Reproducción, UNAM).

La imagen 15.10 ilustra algunos ejemplos de conformación anormal de los testículos, como son la hipoplasia testicular unilateral, la hernia escrotal (en la que el escroto aparece distendido por la presencia de vísceras abdominales), y los testículos con un descenso imperfecto (criptorquidismo). Existe evidencia de que estas anomalías son heredables, por lo que debe excluirse a los animales afectados de los programas reproductivos.

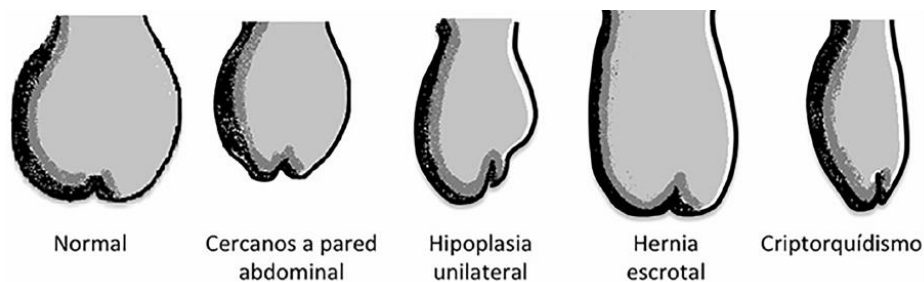


IMAGEN 15.10: tipos de conformación de los testículos y el escroto (Elaborada por el M.V.Z. José Antonio Solano).

Examen de los Órganos Genitales Internos

El examen de los órganos genitales internos se puede llevar a cabo mediante la palpación rectal o con ultrasonografía. En los toros, el reconocimiento de los órganos genitales internos por palpación rectal se inicia con la localización de la uretra pélvica —como punto de referencia—, la cual se encuentra en la línea media del piso de la pelvis y se identifica como una estructura cilíndrica de tres a cuatro cm de diámetro, ligeramente aplanada dorso ventralmente. El cuerpo de la próstata se ubica en el extremo dorso craneal de la uretra pélvica como una protuberancia o cresta transversal. La próstata sirve a su vez como punto de referencia para la localización de las glándulas seminales y de las ampollas de los conductos deferentes, órganos que desembocan en un punto de la uretra pélvica conocido como colículo seminal, que se encuentra precisamente al nivel del cuerpo de la próstata. Las glándulas seminales son un par de glándulas lobuladas de forma generalmente

alargada –alrededor de 10 cm o más de longitud en el bovino–, que a veces presentan cierto grado de asimetría y que están situadas adelante y lateralmente al cuerpo de la próstata (imagen 15.14). La palpación de estas glándulas es relativamente fácil, su consistencia normal es flexible y carnosa, mientras que sus lobulaciones son más o menos discernibles. En toros, la inflamación de las glándulas seminales o vesiculitis seminal es uno de los padecimientos más frecuentes del aparato reproductor. La vesiculitis seminal se asocia con la alteración de otros órganos genitales, por lo que en ocasiones se ve acompañada o seguida de ampulitis, orquitis, epididimitis o prostatitis.

4.3. Evaluación del semen

La determinación de las características cualitativas y cuantitativas del semen de aquellos animales que se utilizan o que se van a emplear en la reproducción, es uno de los aspectos fundamentales al evaluar la capacidad reproductiva de los machos. Debe considerarse que aún cuando la evaluación del semen no puede ser utilizada de modo decisivo para predecir la fertilidad de un animal, sí puede servir para discernir a aquellos animales cuyas características seminales están por debajo del rango normal –lo que permite eliminarlos temporal o permanentemente de la reproducción–, de aquellos con los parámetros adecuados para ser incluidos en los programas reproductivos. La evaluación macroscópica del semen comprende la apreciación del volumen, el color, el aspecto, el olor y el pH; mientras que la evaluación microscópica incluye la determinación de la concentración, la motilidad y la morfología espermáticas. La evaluación de una muestra de semen debe efectuarse en condiciones adecuadas de temperatura, –entre 37 y 38 °C–. El material que se utilice debe encontrarse limpio y seco, y estar a la misma temperatura a la que se mantiene el semen. Las determinaciones deben efectuarse rápidamente.

4.4. Pruebas de libido y capacidad de servicio

La libido es el instinto, el impulso o la agresividad sexual de un individuo; por capacidad de servicio se entiende la competencia de un macho para realizar eficazmente la cópula o acoplamiento. Dos características muy importantes para el rendimiento reproductivo de los animales son la libido y la capacidad de servicio, ya que para completar la segunda es condición indispensable poseer una libido adecuada, aunque esta última, por sí sola, no es suficiente para conferir la capacidad de servicio. La libido en toros tiene un componente genético importante. La libido y la capacidad de servicio se evalúan colocando al macho en presencia de una hembra, que puede estar o no en celo, restringida adecuadamente en un potrero de monta o libre dentro de un corral -si se trata de una hembra en celo-, de modo que el macho pueda actuar en completa libertad. El comportamiento del macho se observa con atención; se registran sus demostraciones de interés sexual, sus intentos de monta y los servicios o montas efectivas que realice dentro de un periodo determinado. La duración del intervalo de observación puede ser variable, pero se ha establecido que 10 min son suficientes para aportar la información adecuada acerca de un animal, aunque un periodo de observación mayor puede ser necesario para definir el origen de algunas alteraciones de la capacidad de servicio. La calificación que se le da al animal en función

del comportamiento exhibido es la siguiente, según Chenoweth (1976): 0. No muestra interés sexual durante el periodo de observación.

1. Muestra interés sexual en una ocasión.
2. Muestra interés sexual en más de una ocasión.
3. Muestra interés sexual persistente.
4. Efectúa una monta o intento de monta, sin servicio.
5. Efectúa dos montas o intentos de monta, sin servicio.
6. Más de dos montas o intentos de monta, sin servicio.
7. Un servicio sin interés sexual posterior.
8. Un servicio seguido de interés sexual, incluyendo montas o intentos de monta.
9. Dos servicios sin interés sexual posterior.
10. Dos servicios seguidos de interés sexual, incluyendo otras montas, intentos de monta u otros servicios.

Es recomendable efectuar la evaluación de un animal por lo menos en dos ocasiones, de preferencia en días diferentes, y retener los mejores resultados como indicadores de su libido y capacidad de servicio. La aplicación de la prueba de libido y de capacidad de servicio es muy importante para valorar el potencial reproductivo de un animal, sobre todo si se va a utilizar en monta natural y también para identificar animales con algún defecto de la capacidad reproductiva que no se haya detectado durante el examen del estado físico.

4.5. Métodos de obtención de semen

Vagina artificial (VA) Es el método de elección para la obtención de semen en los machos rumiantes y en el garañón. Consiste en la utilización de un tubo rígido que contiene una válvula, y en cuyo interior se introduce una manga de látex, que se pliega en ambos extremos. La recámara que se forma entre la pared del látex y la pared del tubo se llena con agua caliente a una temperatura de entre 42 y 45 °C, lo que constituye un estímulo para la eyaculación.

En algunos modelos de VA se introduce además aire en la recámara mencionada, para cerrar las paredes internas y reforzar el estímulo. La obtención de semen se realiza al montar al macho sobre una hembra, un macho o un maniquí; en el toro se prefiere que sea un buey u otro macho y en el garañón una yegua en celo. En particular en el toro las montas falsas (imagen 16.1) –montas en las que no se permite la eyaculación– previas a la

obtención del semen aumentan el número de espermatozoides móviles en el eyaculado, hasta en un 50 %.



IMAGEN 16.1: monta falsa durante la obtención de semen en el toro (Cortesía de la Dra. Lucía Rangel).

Mano enguantada

Se usa la mano enguantada en el cerdo y consiste en fijar la parte espiralada del pene durante la eyaculación, proporcionando un estímulo de presión (imagen 16.2). Para este tipo de obtención de semen se utiliza un potro, con la finalidad de que el verraco se apoye (imagen 16.3).

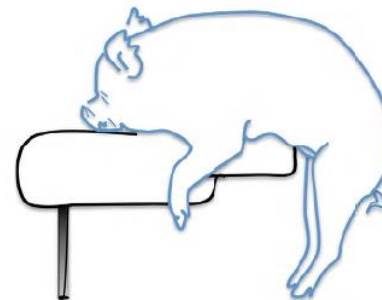


IMAGEN 16.3: potro para la obtención de semen en el porcino (Elaborada por la Dra. Lucía Rangel).

Masturbación

El método de elección en el perro es la masturbación. Una vez que se ha expuesto el pene fuera del prepucio, se fija la parte posterior del bulbo para lograr la erección completa y la emisión del semen. Para esta especie la presión es el estímulo más importante (imagen 16.4).



IMAGEN 16.4: obtención de semen en el perro (Departamento de Reproducción, UNAM).

4.6. Evaluación de semen, Dilución, Criopreservación y Descongelamiento.

Después de la obtención del semen, éste se coloca en un baño maría a 30 – 32 °C y se procede a evaluar las características macroscópicas –color, volumen y aspecto– y microscópicas –motilidad, morfología y concentración espermática–. El volumen y la concentración característicos del eyaculado de las diferentes especies domésticas se muestran en el cuadro 16.1.

Características macroscópicas

El volumen del semen obtenido se mide directamente en el tubo o recipiente graduado de recolección. Varía mucho entre especies y puede ir desde 0.5 mililitros en el carnero y el chivo, hasta 500 ml en el cerdo. En los machos jóvenes el volumen es generalmente menor. El color del semen es blanco marfil, otros colores pueden indicar alteraciones (presencia de pus, orina o sangre). El aspecto varía dependiendo de la concentración espermática y puede ser acuoso (humano, perro), lechoso (bovino) o cremoso (carnero y chivo).

Características microscópicas

El movimiento o motilidad en masa se determina al observar al microscopio una gota de semen sin diluir y sin cubreobjetos. La motilidad en masa se evalúa principalmente en eyaculaciones con alta concentración, como es el de los rumiantes, aunque también se hace en el de cerdo. El vigor del movimiento conjunto está dado por el movimiento individual de los espermatozoides y por su concentración. Si la mayoría de los espermatozoides tienen un movimiento rápido se formarán ondas u olas. Este vigor, de acuerdo a la Sociedad Americana de Teriogenología, se clasifica de la siguiente manera.

4 = Muy bueno. Ondas oscuras y de movimiento rápido.

3 = Bueno. Ondas aparentes, movimiento moderado.

2 = Regular. Ondas con movimiento apenas perceptible.

1 = Pobre. No hay ondas, pocas células móviles.

0 = Muy pobre. No hay células móviles.

CUADRO 16.1
volumen y concentración del semen en los machos de las especies domésticas.

	TORO	CABALLO	CERDO	CARNERO	MACHO CABRÍO	CANINO
Volumen (en ml)	6 (2 - 10)	60* (20 - 300)	225* (150 - 500)	1 (0.5 - 2.0)	1 (0.5 - 2.0)	2 - 15
Concentración (10 ⁹ /ml)	1.2	0.15	0.2	3.0	3.6	0.1 - 0.5

Donde * = volumen sin considerar la porción de gel (Modificado de Universidad de Idaho, Kargiannidis et al. 2000, Setchell, 1977).

Para evaluar la proporción de espermatozoides que muestran un movimiento progresivo y lineal, se coloca una gota pequeña de semen sobre un portaobjetos previamente calentado a 41 °C, a continuación se le pone un cubreobjetos y se observa al microscopio (objetivo 40 x). El porcentaje de células con movimiento progresivo se calcula subjetivamente, al hacer una estimación general del campo que se está observando. Una buena muestra debe tener al menos 70 % de motilidad. En los pequeños rumiantes el semen es tan concentrado (> 3 000 millones/ml) que a veces es necesario diluirlo con solución salina para poder observar individualmente a los espermatozoides. La concentración espermática es la cantidad de espermatozoides en un volumen establecido, generalmente es de un mililitro. Para determinar la concentración se puede usar el hematocitómetro –también llamado cámara de Neubauer o de Spencer–, el espectrofotómetro, el fotocolorímetro, o bien un contador fotoeléctrico de células (Culter counter).

El hematocitómetro está formado por dos áreas cuadrículadas, cada una de las cuales cuenta con cinco cuadrantes por lado –25 cuadros grandes–, separados entre sí por dos líneas paralelas. Cada cuadrante contiene a su vez 16 cuadros chicos (imagen 16.6). Un cubreobjetos especial se coloca sobre los rieles, cubriendo las dos áreas cuadrículadas, con lo que se crea un espacio entre éste y la superficie de cada una de las áreas cuyo volumen es conocido; el espacio deberá llenarse por capilaridad con semen a una dilución determinada. Para poder contar a los espermatozoides es necesario inmovilizarlos, para lo cual un pequeño volumen del semen se mezcla con una solución amortiguadora que contiene formol, a una dilución de 1 : 100 ó 1 : 200, lo que depende de la especie o incluso de la concentración de la muestra de eyaculado obtenida. Para realizar la dilución se utiliza una micropipeta de laboratorio o las pipetas que se usan para el conteo de glóbulos rojos –pipeta de Thoma, que contiene un cilindro agitador de color rojo– o de glóbulos blancos, con un cilindro de color blanco. La apreciación de la morfología espermática permite determinar la proporción de espermatozoides anormales en un eyaculado. Diversos estudios han demostrado que un porcentaje de espermatozoides morfológicamente anormales > 10 %, afecta la fertilidad. Las anomalías primarias son aquellas que resultan de errores en la espermatogénesis –cabezas o colas dobles, macro o microcefalea–, y las secundarias se producen por alteraciones durante el transporte de los espermatozoides por el epidídimo –cabezas sueltas, gota citoplásmica, colas dobladas–. Las anomalías consideradas como terciarias resultan de artefactos producidos por fallas en la preparación del frotis y pueden ser de origen mecánico, químico o físico. Para la evaluación de la morfología de las células espermáticas se mezcla una gota de semen con otra gota de una tinción a base de eosina-nigrosina y se hace un frotis sobre un portaobjetos, dejándolo secar. Se cuentan 100 células y se determina la proporción de anomalías (espermograma).

Las principales anomalías espermáticas y su clasificación se muestran en la imagen 16.8. La tinción de eosina-nigrosina no sólo permite determinar la morfología espermática sino también el porcentaje de espermatozoides vivos, ya que éstos no se tiñen, mientras

que los espermatozoides muertos se tiñen de color lila o rosado debido a que su membrana está dañada, lo que permite la entrada del colorante (imagen 16.9). Existen otros tipos de tinciones, algunas de las cuales son específicas para determinar la viabilidad de los espermatozoides, mientras que otras pueden utilizarse para constatar la integridad o las alteraciones del acrosoma.

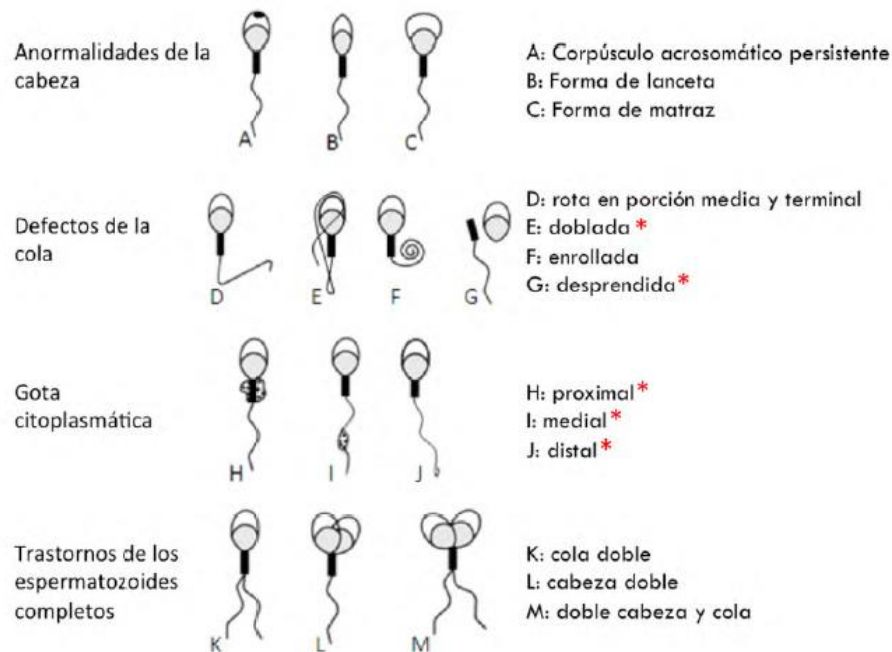


IMAGEN 16.8: anomalías primarias y secundarias (*) en los espermatozoides (Elaborada por la p.MV.Z. Itzel Andrea López Ramírez y la Dra. Lucía Rangel).



IMAGEN 16.9: tinción con eosina-nigrosina, donde se muestran en color claro los espermatozoides vivos. En el extremo derecho se aprecia un espermatozoide muerto, de color rosa intenso (Departamento de Reproducción, UNAM).

Dilución de Semen

El semen recién recolectado puede ser utilizado inmediatamente para inseminar (semen nativo), sin embargo para favorecer su preservación durante el manejo y el almacenamiento, puede mezclarse con diferentes medios denominados “diluyentes” (imagen 16.10). En caso de destinar el semen para ser refrigerado o congelado, la adición de diluyentes es indispensable. Una vez diluido, la reducción paulatina de la temperatura es importante para mantener la vida fértil del semen, al disminuir el metabolismo espermático.

Los objetivos de dilución del semen son los siguientes:

II Añadir sustancias nutritivas (azúcares), crioprotectoras (yema de huevo, glicerol, etilenglicol, DMOSO) y amortiguadoras que evitan cambios de pH (Tris, citrato de sodio, fosfato de sodio, etc.), para incrementar la vida media de los espermatozoides una vez fuera del organismo.

II Restringir el crecimiento de microorganismos al agregar antibióticos y otros antimicrobianos.

II Aumentar el volumen para preparar la cantidad de dosis calculada. Existen diferentes tipos de diluyentes que permiten mantener la viabilidad espermática. Pueden clasificarse como de corto, mediano y largo plazo, dependiendo del tiempo que se requiera conservar al semen. Antes de proceder a la dilución del semen, el diluyente se coloca en baño María a 32 °C durante 30 min. La tasa de dilución dependerá de la concentración espermática del eyaculado. En el bovino, la concentración final deberá ser de 15 a 20 millones de espermatozoides en 0.25 o 0.5 ml, dependiendo de la pajilla en la que se vaya a envasar. Si el semen va a refrigerarse o prepararse para ser congelado, una vez diluido se colocará en baño María en el refrigerador de manera que la temperatura descienda paulatinamente a una tasa de 0.5 °C/min hasta alcanzar los cinco grados centígrados (curva de descenso de temperatura).



IMAGEN 16.10: dilución de semen con diluyente Tris-Yema de huevo (Cortesía del M.P.A. José Luis Cerbón).

Criopreservación

Aunque coloquialmente se habla de “la congelación del semen” el término criopreservación es más correcto pues implica que las células sobrevivan al proceso de la congelación. Al diluyente utilizado para este proceso se le adiciona un crioprotector, que puede ser glicerol o etilenglicol. Una vez que el semen diluido ha alcanzado los cinco grados centígrados, –siguiendo la curva de descenso mencionada anteriormente dentro del refrigerador– deberá permanecer a dicha temperatura durante dos a seis horas (periodo denominado como tiempo de equilibrio). Después se procede a envasar el semen diluido, tradicionalmente; se usan pajillas de polivinilo con volúmenes de 0.5 o de 0.25 ml, teniendo cuidado, de ejecutar este proceso también a cinco grados centígrados. Al terminar el envasado, comienza el congelamiento como tal, durante el cual se sigue una curva de enfriamiento, que varía dependiendo del protocolo seleccionado. Para llevar a cabo la congelación, pueden utilizarse congeladoras automáticas, programadas para seguir la curva de congelación elegida, o continuar el método artesanal en el que las pajillas se extraen del refrigerador; después de completar el periodo del tiempo de equilibrio, se colocan de manera horizontal dentro de un contenedor a cinco centímetros sobre el nivel de nitrógeno líquido, durante 10 min. Luego las pajillas se sumergen de manera directa en el nitrógeno líquido; finalmente se transfieren al termo para su almacenamiento. El ritmo de enfriamiento debe ser suficientemente lento para permitir la deshidratación del espermatozoide e impedir la formación de cristales de agua intracelulares y lo suficientemente rápido para evitar daños osmóticos. Hay que tener en cuenta que una curva de congelación más paulatina y controlada disminuye el daño celular sufrido durante el proceso. Una vez que se ha completado la criopreservación, las pajillas que contienen la dosis de semen se sumergen y almacenan en un termo con nitrógeno líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las dosis se almacenan por tiempo indefinido en los termos de nitrógeno líquido y se conoce que la fertilidad del semen no disminuye en razón del tiempo.

Descongelamiento

Para la descongelación, la pajilla se extrae del termo de nitrógeno y se coloca en un baño María, entre $35\text{ y }37\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 seg, después de lo cual se seca y se monta en la pistola de IA, previamente atemperada para evitar que la pajilla se enfríe. Las pajillas descongelada requieren ser protegidas de la luz directa del sol y del contacto con el agua u otros contaminantes; el semen descongelado debe aplicarse inmediato.

4.7. Técnica de inseminación artificial

Bovinos

La vaca se insemina mediante la técnica recto- vaginal, procedimiento con el que se obtiene óptima fertilidad. Consiste en introducir la pipeta o pistola de inseminación por la vulva, dirigiéndola hacia el techo y luego hacia el fondo de la vagina (fórnix). Esto con el objeto de evitar entrar al divertículo uretral, el cual se encuentra en el piso de la vagina.

Por vía rectal se fija el cérvix y se manipula para ayudar a que la pipeta vaya atravesando los anillos cervicales. El sitio de depósito del semen es precisamente donde se abre el canal cervical hacia el cuerpo uterino. El momento óptimo para inseminar es precisado cuando se observa que la vaca se deja montar. En teoría se indica que la IA se debe realizar 12 h después del inicio del celo, sin embargo, si la vaca entra en calor por la noche y los signos no se observan por primera vez sino hasta la mañana siguiente, esperar 12 h para inseminar constituiría una IA tardía. En el bovino es posible inseminar con semen fresco diluido, y de igual modo con semen refrigerado, pero en general se utiliza el semen congelado, proveniente de toros con prueba de progenie o con prueba genómica, para impulsar un mejoramiento genético en el hato.

Porcino

La eyaculación del cerdo tiene el mayor volumen entre los machos de las especies domésticas (cuadro 16.1) y consta de varias fracciones. La primera es clara y debe ser desechada porque contiene bacterias y orina; la segunda es lechosa y es la fracción rica en espermatozoides, y la tercera es pobre en espermatozoides. Hay también una porción gelatinosa que se expulsa durante todo el transcurso de la eyaculación, cuya función durante la monta natural es formar un tapón en el cérvix que evite la salida retrógrada del semen. Este componente debe separarse mediante un filtro o una gasa durante la recolección. La cerda se insemina introduciendo el catéter de IA hasta que queda fijo en el canal cervical. La dosis que se utiliza para inseminar está contenida en un envase (bolsa o botella) y, al procederse con la inseminación, pasa directamente al útero debido al volumen y ayudado por las contracciones uterinas. Existen también catéteres que tienen un tubo interno que funciona como una extensión y que permiten una IA profunda. La cerda se insemina entre las 24 y las 36 h de haberse iniciado el celo. Para la dilución del semen de verraco se utilizan diluyentes de corto, mediano y largo plazo, pero en los sistemas de producción comerciales se emplea por lo general el semen diluido fresco o refrigerado. Las dosis para inseminar tienen una concentración aproximada de 3 000 millones de espermatozoides móviles, en un volumen total de 80 a 100 ml. Para almacenarlas, se utilizan cajas de poliuretano a 17 °C. El semen congelado sólo se utiliza para introducir la genética de nuevos sementales a las granjas de pie de cría.

Equinos

Para llevar a cabo la IA en esta especie puede utilizarse semen fresco, frío o congelado. Al procesar el eyaculado del garañón se utilizan diluyentes sencillos, como los preparados con leche descremada o bien diluyentes comerciales, que son muy efectivos (INRA-96, Kenney). Cuando se opta por el semen frío diluido, se sigue una curva de descenso en la temperatura cuya velocidad oscila entre los 0.5 °C/min y los cuatro grados centígrados, para evitar un choque térmico. El semen así diluido y enfriado (cuatro grados centígrados) se utiliza de manera habitual, ya que puede ser transportado a zonas remotas en termos diseñados ex profeso para ello. La dosis de IA es de 250 a 500 millones de espermatozoides móviles en un volumen total de 10 a 25 ml, que se administra a través de

una jeringa adaptada a un catéter largo de IA. En cuanto al semen congelado concierne, antes se utilizaban macrotubos que contenían un volumen de cinco a 10 ml para almacenarlo, sin embargo, cada vez es más común que se usen las pajillas de 0.5 ml. En la IA por el método manual la pipeta de inseminación se introduce a través de la vulva (previo vendaje de la cola y lavado de la región perineal) protegida por un guante de palpación, hasta alcanzar el fondo de la vagina. Una vez localizada la entrada del cérvix, se dirige la pipeta con el dedo índice a lo largo del canal cervical y se deposita el semen en el cuerpo del útero. Mediante esta técnica se puede realizar también la IA profunda en el fondo del cuerno uterino, utilizando un catéter más largo y flexible. Para determinar el momento óptimo de la IA, es necesario hacer un seguimiento diario de la dinámica folicular durante el celo, ya sea por palpación rectal o por ultrasonido. La ovulación se aproxima cuando el folículo es mayor a 3.5 cm y adopta una forma triangular ya que se dirige hacia la fosa de ovulación.

Caninos En el perro, como ya se mencionó, el semen se recolecta por el método de masturbación. El eyaculado consta de tres fracciones. La primera es de aspecto claro, ya que al igual que en las otras especies la concentración espermática es baja. La segunda es la fracción rica en espermatozoides, mientras que la tercera es también de aspecto claro. Cuando se desea hacer inseminación artificial o congelación del semen solamente se utilizan las primeras dos fracciones. El momento óptimo para llevar a cabo la inseminación puede precisarse mediante la determinación de los niveles sanguíneos de progesterona. Esta hormona empieza a liberarse desde el proestro y se incrementa de manera significativa durante el estro. La ovulación ocurre cuando la concentración de progesterona alcanza entre los siete y los 10 ng/ml, y es el momento en el que deben iniciarse las inseminaciones, recomendándose realizarlas cada tercer día hasta la aparición del estro citológico. En caso de no contar con la opción de medición de progesterona, se puede realizar la inseminación artificial cuando se observen al menos 80 % de células superficiales al llevar a cabo la citología vaginal exfoliativa. Un inconveniente de este método es que la probabilidad de éxito la gestación es mucho menor comparado con el obtenido mediante la medición de niveles de progesterona, ya que el estro en la perra puede durar de tres a 20 días, durante los cuales presenta el tipo de citología mencionado, sin que se pueda relacionar al momento de la ovulación. Una práctica común es la inseminación a la perra durante el primer día en el que acepta al macho o bien en los días uno, tres y cinco del estro. Esto presenta la grave problemática de que la aceptación del macho no necesariamente ocurre cerca de la ovulación y, si se utiliza semen congelado o de baja calidad, los espermatozoides probablemente no sobrevivan hasta que la inseminación ocurra. En la hembra canina puede utilizarse semen fresco, refrigerado o congelado, y la inseminación artificial se lleva a cabo por vía intravaginal o intrauterina. Para la técnica intravaginal, se utiliza una pipeta de plástico que está adaptada a una jeringa y que se introduce entre los labios de la vulva en un ángulo de 45 ° hacia arriba y hacia el frente, para evitar la fosa del clítoris; al llegar al cingulum en la región vestíbulo-vaginal, se redirige horizontalmente para depositar al semen en la vagina craneal. La inseminación intrauterina, por su parte, requiere de un procedimiento

quirúrgico, ya sea laparotomía o endoscopía, en el que se utiliza un catéter para depositar el semen en el lumen de los cuernos o del cuerpo uterinos, respectivamente.

4.8. Nutrición y alimentación del semental

El manejo correcto del semental en cubrición es muy importante para mantener su salud y fertilidad íntegras. Los sementales, a veces, no mantienen un peso apropiado porque se quedan delgados durante la temporada de cubrición o tienen tendencia a engordar incluso con dietas restringidas. Una ración debe proporcionar suficiente energía y nutrientes para mantener un peso apropiado en todo momento.

Para obtener un rendimiento óptimo en términos de crecimiento y producción de semen, los toros deben mantenerse con una nutrición y un manejo adecuados. El inicio de la pubertad está más relacionado con el peso corporal que con la edad, es decir, el nivel nutricional modula la edad en la pubertad. Por lo tanto la nutrición ocupa un lugar destacado entre los factores que controlan la generación y producción de espermatozoides y fluidos accesorios del semen.

Factores nutricionales que afectan la producción óptima de semen

Tanto la subnutrición como la sobrealimentación así como también la deficiencia de nutrientes específicos (vitamina A, manganeso, cobre, proteínas o cambios en la relación Ca^{++}/P^{+}) son las causas más comunes de deterioro de la capacidad reproductiva del toro en términos de producción y calidad del semen.

La deficiencia nutricional de moderada a severa, especialmente en animales que se encuentran a campo, debido a la escasez de alimentación y/o a la alimentación de mala calidad, conduce a un retraso en la pubertad en los toros, asociados con pérdida de la libido, espermatogénesis deprimida y mala calidad del semen (Pant, 2002).

Los estándares para el mantenimiento y los requisitos de crecimiento de energía y proteínas utilizados en los toros son generalmente basados en la observación de las hembras; es posible que subestimen los requisitos del macho.

Nutrición y desarrollo testicular

La mayoría de los terneros manejados para las ventas como toros jóvenes son alimentados con dietas hipercalóricas luego del destete, para maximizar la ganancia de peso diaria. Las dietas hipercalóricas con un adecuado nivel de proteína, vitaminas y minerales resultan en una mayor C.E. al año de edad, sin embargo parte de ese incremento en el tamaño es debido al depósito de grasa escrotal. En un experimento llevado a cabo por Barth et al., año en la Universidad de Saskatchewan, Canadá, se compararon dos grupos de toros menores de un año, un primero alimentado con una ración hipercalórica, un segundo con una ración estándar, observándose luego a la faena el tamaño testicular, el peso de los mismos y el peso del escroto. Los resultados mostraron un mayor peso de los testículos para los del primer grupo, aunque no

necesariamente un tamaño mayor, siendo los del primer grupo los que presentaron mayor peso escrotal. La conclusión a la que llegaron los investigadores fue que el aumento diferencial de la C.E. en los que habían recibido la dieta hipercalórica fue debido tanto al desarrollo del tejido testicular como al depósito de grasa en el escroto (Barth et al, 2008). Ahora bien, si el racionamiento hipercalórico continúa más allá del año de edad, se compromete la calidad seminal como consecuencia del depósito de grasa en el cuello escrotal, lo que compromete la termorregulación testicular (Barth et al, 2008) La C.E. suele ser más pequeña en toros menores de un año criados por vacas de primera parición, comparados con aquellos que fueron criados por vacas de varios partos. Esto tal vez se deba a la menor producción láctea de las primíparas en comparación con las múltiparas, al efecto uterino, o ambos (Barth et al, 2008). Así como las hormonas ejercen su efecto sobre la pubertad, éstas también tienen su impacto sobre el desarrollo testicular y ya se ha mencionado la relación entre la nutrición y los perfiles hormonales durante esta etapa de la vida del toro. Terneros que maduraron tarde con testículos pequeños presentaron bajos niveles de LH durante el período de aumento temprano de gonadotrofinas, es decir entre los dos y cinco meses. Además, concentraciones circulantes de LH crecientes estuvieron asociadas a la administración de GnRH en terneros, que a su vez alcanzaron la pubertad.

Nutrición del toro adulto y fertilidad

El cabañero desea que sus animales ganen en las pistas de las exposiciones, por cuestiones personales y comerciales. No vale lo mismo un primer premio que una tercera mención. No obstante, los campeones en su inmensa mayoría no son animales con una condición corporal (C.C.) adecuada, considerando adecuada desde el punto de vista funcional, entre 5 y 7 (escala 1 a 9). En este rango de C.C. se obtendrá la mejor calidad de semen que el toro es capaz de producir, teniendo toda su capacidad de servicio inmediatamente disponible y mayores posibilidades de una prolongada vida útil. Los reproductores llegan a las exposiciones con una C.C. 8 y 9. Mientras los jurados premian a los toros gordos, los cabañeros van a continuar alimentando a los toros con dietas hipercalóricas, tratando de obtener el máximo desarrollo y grado de terminación, con el riesgo de limitar la fertilidad y longevidad. Los toros que ingresan en centros de colecta y procesamiento de semen, luego de ser preparados para las exposiciones, demoran en producir semen de buena calidad. Según Witt, director del centro Sirbo, analizando la calidad de semen de toros provenientes de la Exposición Rural de Palermo en los últimos 15 años, la primera congelación aprobada para los mejores toros fue a los 90 días, el promedio estuvo entre 120 y 150 días y los que estuvieron por debajo del promedio lo hicieron entre 240 y 365 días (Munar, 2005). Los toros deberían presentar una C.C. de 6 (Walker, Perry, Daly y Olson, 2009).

Varios estudios realizados en razas británicas no aconsejan que la alimentación de los toros sea alta en energía porque va en detrimento de la capacidad reproductiva, la que es medida en la calidad del semen y libido. Los toros que consumieron una dieta muy

energética tuvieron un 50% menos de motilidad; un alto porcentaje de espermatozoides anormales, y realizaron menor cantidad de saltos, que aquellos en los que la dieta les permitió estar un poco más delgados. El porqué, aún no está del todo claro, pero se estima que parte del problema resulta de la deposición de grasa en el cuello escrotal y/o tejido, aumentando de esta manera la temperatura testicular; por ende se reduce la calidad y cantidad de espermatozoides producidos (Mapletoft et al, 1998). El efecto deletéreo más grave para la espermatogénesis es la sobrealimentación, el depósito de grasa en bolsa y cuello escrotal alteran la termorregulación. Por ello, se debe evitar trabajar con toros gordos. Toros relativamente flacos no mostraron efectos negativos en la calidad seminal, por lo tanto se busca un estado corporal normal de 5 a 7 administrando la alimentación necesaria para suplir las necesidades de mantenimiento (Sara, 2013). Existen un conjunto de patologías asociadas a la sobrealimentación de los reproductores que impactan directa o indirectamente sobre la calidad seminal. La acidosis ruminal, producto del consumo de alimentos de alta energía, que puede ser clínica o subclínica, al inflamar la mucosa del rumen, la vuelve permeable a microorganismos habituales, que vía sanguínea colonizan las vesículas seminales, provocando severas seminovesiculitis que afectan la calidad seminal.

La acidosis altera la composición de la flora bacteriana ruminal, estas bacterias producen endotoxinas que por vía sanguínea provocan la congestión de los tejidos blandos de la pezuña, laminitis o infosura. Los animales aparecen rengos, surgen deformaciones de la pezuña, chapinudos o pezuñas con forma de zapato chino, y actitudes posturales anormales, lo que compromete la rutina de extracción del semen. El hígado graso, producto también de la sobrecarga energética, es la degeneración grasa del tejido hepático que afecta el metabolismo general y por lo tanto también el de las hormonas esteroideas sexuales (progesterona, estrógenos, testosterona). El tejido graso produce hormonas esteroideas, que participan del desequilibrio hormonal y afectan la gametogénesis. Como ya se ha mencionado la grasa escrotal afecta la termorregulación testicular, y la normal espermatogénesis. Impotencia copulatoria por exceso de peso, dolores esqueléticos y pezuñas debilitadas por secuelas de infosura, libido disminuida por combinación de todos los factores mencionados, también hace difícil la obtención de semen de calidad en los centros de colecta y procesamiento de semen (Munar 2005).

4.9 Superovulación y transferencia de embriones

La superovulación y la transferencia de embriones (STE, o Multiple Ovulation and Embryo Transfer, MOET por sus siglas en inglés); es una técnica de reproducción asistida que tiene como objetivo el incremento de la tasa reproductiva a través de la máxima utilización de hembras y machos de alto valor genético. Se emplea, para ese efecto, a una hembra genéticamente superior denominada “donadora”; la cual es sometida a un tratamiento hormonal para aumentar su tasa de ovulación (TO). Después se insemina o se le realiza un servicio con un semental genéticamente superior, para obtener embriones de alto valor genético; los embriones son recuperados y depositados o “transferidos” a

hembras de menor valor genético, a las cuales se les llama “receptoras”, para que sean gestados hasta su nacimiento. De manera alternativa, los embriones pueden ser criopreservados por un tiempo indefinido antes de su transferencia.

Los protocolos de STE incluyen un periodo para sincronizar el estro de las donadoras y las receptoras, que puede anteceder o ser simultáneo al programa de STE propiamente dicho, ya que para que el embrión se desarrolle de modo adecuado después de ser transferido, es muy importante que exista una sincronía estrecha –de acuerdo al día del ciclo estral– en relación a las condiciones fisiológicas en las que se encuentra el aparato reproductor tanto de las hembras que lo donan como de las que lo reciben. La inclusión de un esquema de sincronización, como se explicará más adelante, permite comenzar el tratamiento de superovulación en la donadora cuando inicia la oleada folicular, lo que mejorará la respuesta.

Selección de los animales

La selección de los animales en un programa de STE es de suma importancia, ya que de ello dependerá parte del resultado que se busca al emplear esta tecnología. La selección de la donadora generalmente se lleva a cabo con base en los registros genealógicos y productivos. Se pone especial atención, además, a que provenga de líneas fértiles, que presente ciclos estrales normales, que no muestre patologías en el aparato reproductor, ni antecedentes de distocia o de retenciones placentarias. En el aspecto sanitario debe de estar vacunada, desparasitada, libre de enfermedades, en especial de aquellas que afecten la función reproductiva. En los pequeños rumiantes, particularmente, se seleccionan hembras que no requieran más de dos servicios por concepción, que tengan entre tres y ocho años de edad, y cuya condición corporal se encuentre entre tres y 3.5 (en una escala de cero a cinco). Respecto de las vacas posparto, es necesario que transcurran entre dos y cuatro meses desde el nacimiento del becerro para poder elegir las. Cuando se emplean vaquillas, hay que seleccionar a aquellas cuyo peso vivo sea de al menos 350 kg.

Los sementales

El semental donador debe de poseer un alto mérito genético, buena salud, condición corporal de tres o más, estar libre de enfermedades que afecten el aparato reproductor y cumplir con los estándares propios de la raza. En el aspecto reproductivo se pone especial atención a las características del eyaculado, ya que impactan directamente sobre la fertilidad y el éxito del proceso. La calidad del eyaculado es así un estimador objetivo sobre los posibles resultados del programa de superovulación y sobre la tasa de recuperación de embriones. En los programas de STE se utiliza generalmente la inseminación artificial; el semen empleado puede ser fresco, refrigerado o congelado.

Cabe mencionar que es muy importante tener personal altamente calificado durante todo el proceso, ya que, además de la evaluación del semen, una adecuada detección del estro

y la precisión del momento de la ovulación son determinantes para definir cuándo realizar un servicio o la inseminación artificial. Receptoras La selección de una hembra receptora se realiza con base en características sanitarias, nutricionales y reproductivas, sin importar sus particularidades genéticas. Deben ser animales sin historia de distocia ni de retención placentaria; tener ciclos estrales regulares, habilidad materna, buen desarrollo corporal, especialmente de la pelvis (ya que en ocasiones deberán parir crías grandes y pesadas), buena condición corporal, estar clínicamente sanas, no poseer alteraciones anatómicas en el aparato reproductor, y contar con el programa de vacunación y desparasitación al corriente. Al seleccionar una vaca receptora, es indispensable que ésta haya tenido al menos dos o tres partos, y más de 80 días posparto.

Hormonas Empleadas para la Superovulación y su Mecanismo de Acción

El primer paso para la realización de un programa de STE es el aumentar la tasa ovulatoria de la hembra donadora. Para ello se emplean gonadotropinas, sobre todo, la hormona folículo estimulante (FSH), u otras hormonas con acción similar, como la gonadotropina coriónica equina (eCG).

La naturaleza química de estas hormonas se revisó en la unidad 3; aquí sólo se recordarán brevemente algunas de las características referentes a su estructura y a su vida media. Hormona folículo estimulante (FSH) La FSH es una glicoproteína, compuesta por dos subunidades $-\alpha$ y $-\beta$, y a cuya estructura están unidos en forma covalente diferentes azúcares, que impactan su vida media en la circulación (alrededor de tres horas). De ahí que la administración de FSH exógena se lleve a cabo en dosis repetidas con intervalos de aproximadamente 12 h.

En los tratamientos superovulatorios, generalmente se emplea una FSH de origen ovino o porcino. Se conoce que la aplicación exógena de esta hormona causa que los folículos que usualmente estarían destinados a sufrir atresia sean “rescatados” para que puedan completar su crecimiento y maduración. De esta manera se promueve que haya un mayor número de folículos susceptibles de ser ovulados. En diversos estudios se ha observado que la estimulación con FSH resulta en un mayor número de ovulaciones, un menor número de folículos anovulatorios y un mayor porcentaje de embriones recuperados. Hay que considerar sin embargo, que existe una gran variabilidad en la respuesta a los tratamientos superovulatorios, principalmente debida a factores individuales, pero también al estado de la población folicular al momento de comenzar el programa.

4.10 Protocolos de Superovulación en Rumiantes

Los protocolos que a continuación se describen serán útiles como ejemplos ya que los avances en esta biotecnología son constantes. La STE se utiliza en diferentes programas de mejora genética, en los que se parte de un núcleo reducido de animales con alto valor genético y se maximiza su reproducción para difundir sus características en un breve lapso de tiempo. En algunos protocolos de superovulación la FSH se emplea en dosis

decrecientes, con el objeto de simular lo que ocurriría naturalmente con las concentraciones endógenas de esta hormona durante el reclutamiento y el desarrollo de una oleada folicular. Se muestra un ejemplo, entre muchos, de un protocolo de superovulación en el que se utiliza este tipo de esquema y en el que se incluye a otras hormonas como la progesterona o la $PGF_2\alpha$ para la sincronización del ciclo estral tanto en las donadoras como en las receptoras. En el ejemplo presentado para los pequeños rumiantes (cuadro 18.2), la progesterona se utiliza por un periodo de 10 días, aplicando una dosis de $PGF_2\alpha$ al momento de iniciar el programa. La administración de FSH (ocho dosis decrecientes dos veces al día) comienza en las donadoras en el día ocho. Durante el día 10 se les retira el implante de progesterona a las hembras donadoras y a las receptoras, y a éstas últimas se les administran 150 UI de eCG, con el objeto de rescatar folículo(s) que formará(n) cuerpo(s) lúteo(s) adicionales que ayudará(n) a aumentar las concentraciones de progesterona durante la gestación. El día 11 comienza la detección del comportamiento de estro dos veces al día, con la ayuda de un macho vasectomizado o con mandil. La donadora se insemina o se le da servicio al presentar el celo, lo que se considera como día cero. El lavado para recuperar a los embriones se lleva a cabo en los días seis o siete y los embriones son transferidos a las receptoras en ese mismo día. En el ejemplo para los bovinos (imagen 18.2), la sincronización se lleva a cabo con prostaglandinas antes de comenzar el protocolo de superovulación, de modo que la administración de FSH a las donadoras comienza entre nueve y diez días después del celo sincronizado.

CUADRO 18.2

Ejemplo de un protocolo de sincronización, superovulación y transferencia de embriones en pequeños rumiantes.

DÍA	HEMBRAS DONADORAS	HEMBRAS RECEPTORAS
0 Inicio del tratamiento	Colocar CIDR y $PGF_2\alpha$.	Colocar CIDR y $PGF_2\alpha$.
8	FSH, am y pm.	
9	FSH, am y pm.	
10	FSH, am y pm. Retirar CIDR.	150 UI de eCG. Retirar CIDR.
11	FSH, am y pm. Detección de estros. Monta o IA.	Detección de estros.
0 Presentación del celo	Detección de estros. Monta o IA.	Detección de estros.
6	Dietado de sólidos y líquidos.	Dietado de sólidos y líquidos.
7	Lavado para recuperación de embriones. $PGF_2\alpha$.	Transferencia de embriones.

Manejos por realizar en las donadoras y en hembras las receptoras.

Ac

4.11. Métodos de Obtención de Embriones

La recolección de embriones es conocida también con los tecnicismos de “lavado” o “flushing”. Para llevarla a cabo existen métodos no invasivos (no quirúrgicos) e invasivos (quirúrgicos), que son empleados de manera distinta en las diferentes especies.

Es necesario considerar que para mantener la viabilidad de los embriones fuera del útero se debe evitar que sufran cambios bruscos de temperatura, osmolaridad (debe encontrarse entre los 270 y los 310 miliosmoles) o pH (rango adecuado entre 7.2 y 7.6). Los medios utilizados para el lavado y en los que los embriones se mantendrán durante su manejo buscan igualar las condiciones existentes en el útero. La solución Hartmann modificada y la solución amortiguadora fosfatada (PBS) de Dulbecco, son ejemplos de soluciones comerciales consideradas adecuadas para este fin.

Métodos no quirúrgicos

La técnica de lavado transcervical se utiliza por elección para la recuperación de embriones tanto en los bovinos como en los equinos, aunque existen algunas consideraciones que determinan diferencias en el manejo según la especie. El procedimiento debe ser lo más aséptico posible y el material utilizado para realizarlo debe estar estéril.

Antes de comenzar el lavado es necesario contener a las hembras en una manga de manejo, evaluar las características de su tracto reproductivo, en particular del útero y cérvix por vía transrectal, y lavar y secar con cuidado el área perineal. La recolección de embriones se lleva a cabo por medio de un lavado o arrastre (flush) uterino transcervical, utilizando un sistema que incluye una sonda de Foley y una manguera de dos vías o manguera en “Y”. La sonda de Foley tiene, en uno de sus extremos, un balón o globo que puede inflarse y desinflarse desde el extremo opuesto para que pueda quedar fija dentro del cuerno o el cuerpo del útero, y para ocluir el lumen en su base e impedir la pérdida de líquido o de embriones. Por su parte, la manguera de dos vías tiene un extremo que se conecta directamente con la sonda de Foley, otro que está adaptado para conectarse a las bolsas o botellas que contienen la solución de lavado, mientras que el último se ensambla a un recipiente cuya base es un filtro para embriones, que también tiene una sonda de salida que permite regular el volumen de solución que va recibiendo y así evitar que se desborde. Tanto el extremo conectado a la solución de lavado como el adaptado al filtro para embriones en la manguera cuentan con broches para regular el paso del líquido (imagen 18.3).

La sonda de Foley debe extraerse de su empaque hasta el momento previo a su colocación en el útero para evitar que se contamine, por lo que para conectarla al resto del sistema se expone únicamente el pabellón (imagen 18.4). Todo el sistema se purga con solución de lavado antes de iniciar el procedimiento.

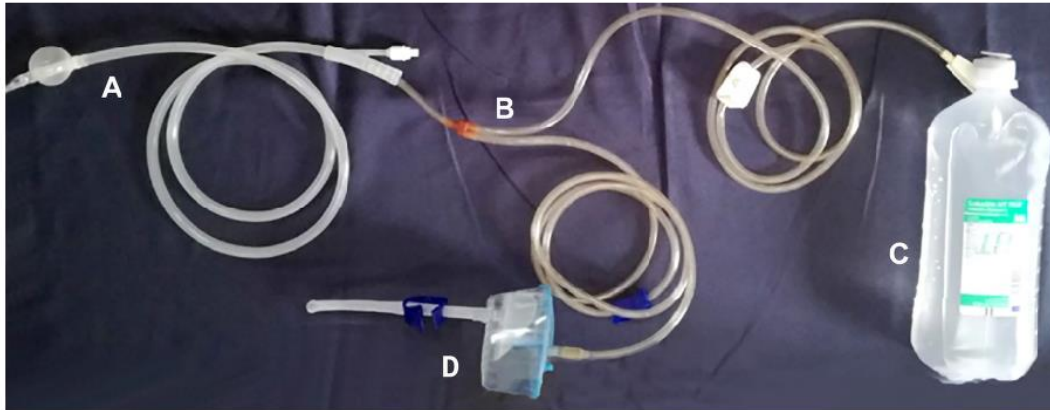


IMAGEN 18.3: sistema de lavado o *Flush*: A, sonda Foley con el globo inflado; B, manguera en Y; C, recipiente con la solución de lavado; D, filtro para embriones (Cortesía de la MVZ Maricruz Díaz Durán).

Act



IMAGEN 18.4: a la izquierda una conexión de la sonda de Foley con la manguera de dos vías. Al conectarse, sólo se expone el pabellón de la sonda de Foley, para mantener cuanto más sea posible la esterilidad de la misma. A la derecha: una demostración de la sonda de Foley para equinos con el globo insuflado (Cortesía del MVZ. Guillermo González).

En el bovino la sonda de Foley se pasa a través del cérvix con la misma técnica que se utiliza para inseminar, es decir que el cérvix se manipula por vía transrectal y la sonda, que tiene una varilla para darle rigidez, atraviesa el cérvix hasta la curvatura mayor del útero, manipulándose desde fuera, del mismo modo en el que se haría con una pipeta de inseminación.

En contraste, en el equino la sonda se introduce manualmente en la vagina. Una vez listo el sistema del equipo de lavado, el clínico se coloca un guante de palpación y sobre éste un guante de látex estéril, con lubricante. Se toma, después, la punta de la sonda Foley y protegiéndola lo más posible para que no se contamine, se introduce por la vagina, se localiza el cérvix y se guía la sonda con los dedos para que ésta pueda atravesarlo, asegurándose que el balón quede dentro del útero, ya que al insuflarlo (con alrededor de 50 cc de aire o de solución salina) permite que la sonda quede fija y se selle el cérvix (imagen 18.5). Si no se está seguro de que el globo está bien fijo dentro del útero, se le

puede ubicar por vía transrectal y desplazarlo ligeramente para colocarlo en el sitio deseado. El lavado en los bovinos debe realizarse entre el día seis y siete de la gestación y, únicamente en esta especie, es conveniente realizar el conteo de los cuerpos lúteos presentes en cada ovario, con la finalidad de estimar el número de estructuras por recuperarse (embriones u ovocitos). El embrión equino es transportado a través del oviducto hacia el útero entre las 144 y 156 h post-ovulación, cuando se encuentra en etapa de mórula o blastocisto temprano, después de lo cual incrementa dramáticamente su tamaño hasta formar un blastocisto expandido. La recuperación de los embriones en esta especie se realiza entre los días siete y nueve posovulación. Cabe mencionar que si se lava a la yegua antes de este periodo el embrión no se podrá identificar o se perderá durante el procedimiento a consecuencia de su pequeño tamaño, de su mayor gravedad específica o porque aún no se encuentra en el útero.



IMAGEN 18.5: sonda de Foley dentro del cérvix en una yegua. A la derecha, insuflado del globo de la sonda de Foley que ya se encuentra dentro del útero (Dra. Myriam Boeta).

Cada lavado consiste en administrar solución atemperada a 30 – 35 °C, introduciendo el volumen suficiente para llenar el cuerno uterino (bovinos) o el cuerpo y los cuernos (equinos). La manguera de salida debe permanecer cerrada con una pinza hasta que las estructuras uterinas mencionadas estén llenas, momento en el que se realiza un masaje transrectal con delicadeza, con la finalidad de favorecer que los embriones queden suspendidos en la solución que se pretende recuperar. Durante el masaje la manguera que conecta al recipiente que contiene la solución de lavado también se mantiene cerrada, y una vez concluido el masaje, la pinza de la vía que se dirige al filtro se abre para permitir que el líquido que viene desde el útero pase a través de él.

Es importante cuidar que el filtro no se vacíe para evitar que los embriones se queden sin medio y se peguen a la malla en la base, ni se desborde, ya que los embriones podrían perderse (imagen 18.6). El proceso de lavado debe repetirse de dos a tres veces para maximizar el porcentaje de embriones recuperados. Sobra decir que en los bovinos se hacen de dos a tres lavados en un cuerno y luego se alterna para repetir el proceso en el segundo cuerno. Al término de los lavados, la manguera de dos vías se cierra, se desinfla el globo de la sonda de Foley y se retira por completo. Una vez que se saca, es importante dejar pasar una cantidad suficiente de solución por todo el sistema de lavado

que conduce al filtro, para asegurarse de que se recuperen los embriones que pudieran haber quedado suspendidos en el volumen de medio que queda dentro de la sonda al sacarla.

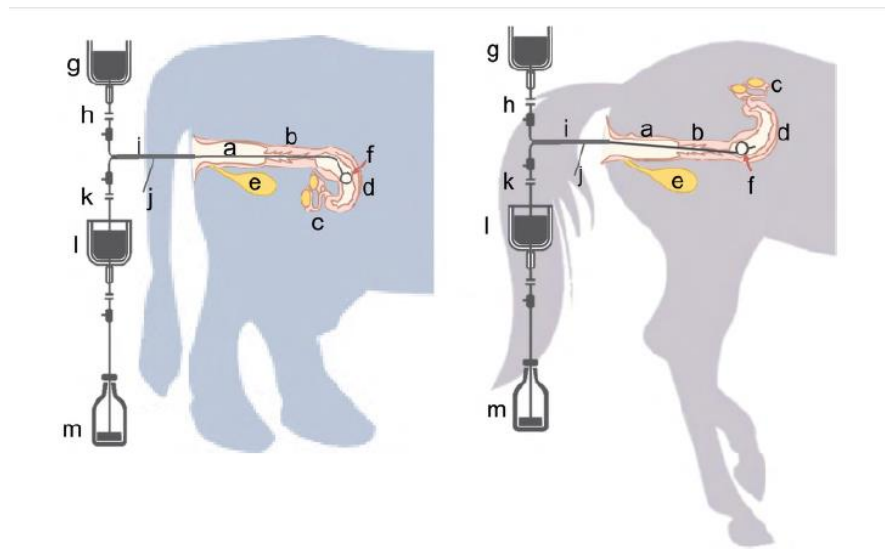


IMAGEN 18.6: sistema de lavado y colocación de la sonda de Foley para la recuperación de embriones en bovinos y equinos. **a**, vagina; **b**, cérvix; **c**, ovarios; **d**, útero; **e**, vejiga; **f**, bulbo de la sonda de Foley que no permite el paso de líquido hacia el cérvix; **g**, solución para el lavado; **h**, pinzas para control del paso del fluido; **i**, manguera de dos vías; **j**, válvula; **k**, pinzas para el control del paso del fluido; **l**, contenedor con filtro para la recolección de embriones; **m**, contenedor para el exceso de fluido de lavado (Elaborada por la p.M.V.Z. Itzel Andrea López Ramírez).

La solución de lavado utilizada en la hembra bovina debe contener suero fetal, para evitar que el embrión se adhiera a las cánulas del sistema de lavado; ésto no es necesario en los equinos, ya que el embrión está cubierto por una cápsula de mucina que evita que se pegue a la sonda, por lo que el lavado se puede realizar simplemente con solución Hartman o con solución salina. Es necesario aplicar $PGF_2\alpha$ a la donadora al término del lavado, sin importar la especie, para lisar a los cuerpos lúteos, con el objeto de evitar que se desarrolle una gestación en caso de que algún embrión haya permanecido dentro del útero.

Bibliografía

(UNAM), U. N. (2021). *Reproducción de los Animales Domésticos*. Obtenido de <https://reproduccionanimalesdomesticos.fmvz.unam.mx/index.html>

al, B. e. (2018). *Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos*. México: Universidad Autónoma de México.

Cerón, D. J. (2012). *Manual de la materia: Práctica de profundización en*. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

M.V. González Guillermo, M. C. (2013). *Nutrición del Toro y Calidad Seminal*. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS INTENSIFICACIÓN EN PRODUCCIÓN ANIMAL NUTRICIÓN Y ENFERMEDADES MÉDICAS EN PRODUCCIÓN.

Ing. Luis Toribio (2013). *COMPEDIO SOBRE REPRODUCCIÓN ANIMAL*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.