

11

capítulo

Glándula mamaria y secreción láctea



Secreción de leche y estructura de la glándula mamaria

La glándula mamaria

La ubre de los mamíferos cuadrúpedos, por su ubicación ventral, esta diseñada para ofrecer al neonato un fácil acceso a la leche. En la vaca, se encuentra suspendida por fuera de la pared del abdomen posterior y es una glándula cutánea exocrina modificada, cuyo producto es la leche.

La ubre bovina esta constituida por cuatro glándulas mamarias, mejor conocidas como cuartos. Cada cuarto es una unidad funcional en sí misma que opera independientemente y drena la leche por medio de su propio canal.

Por lo general, los cuartos posteriores son ligeramente más grandes y producen, en promedio, 60% de la leche; los cuartos anteriores producen el 40% restante. Los principales componentes estructurales de la ubre son:

- Sistema de ligamentos suspensorios
- Sistema secretor y conductos receptáculos

1. Ligamentos suspensorios

Un grupo de ligamentos y tejido conectivo mantienen a la ubre prácticamente adosada a la pared abdominal. La fortaleza de los ligamentos es deseable debido a que ayudan a prevenir la formación de una ubre colgante; minimiza el riesgo de lesiones; y evitan dificultades cuando se utiliza el equipo de ordeño.

La mitades derecha e izquierda de la ubre están separadas claramente, mientras que el cuarto frontal y el trasero rara vez muestran alguna clara división externa.

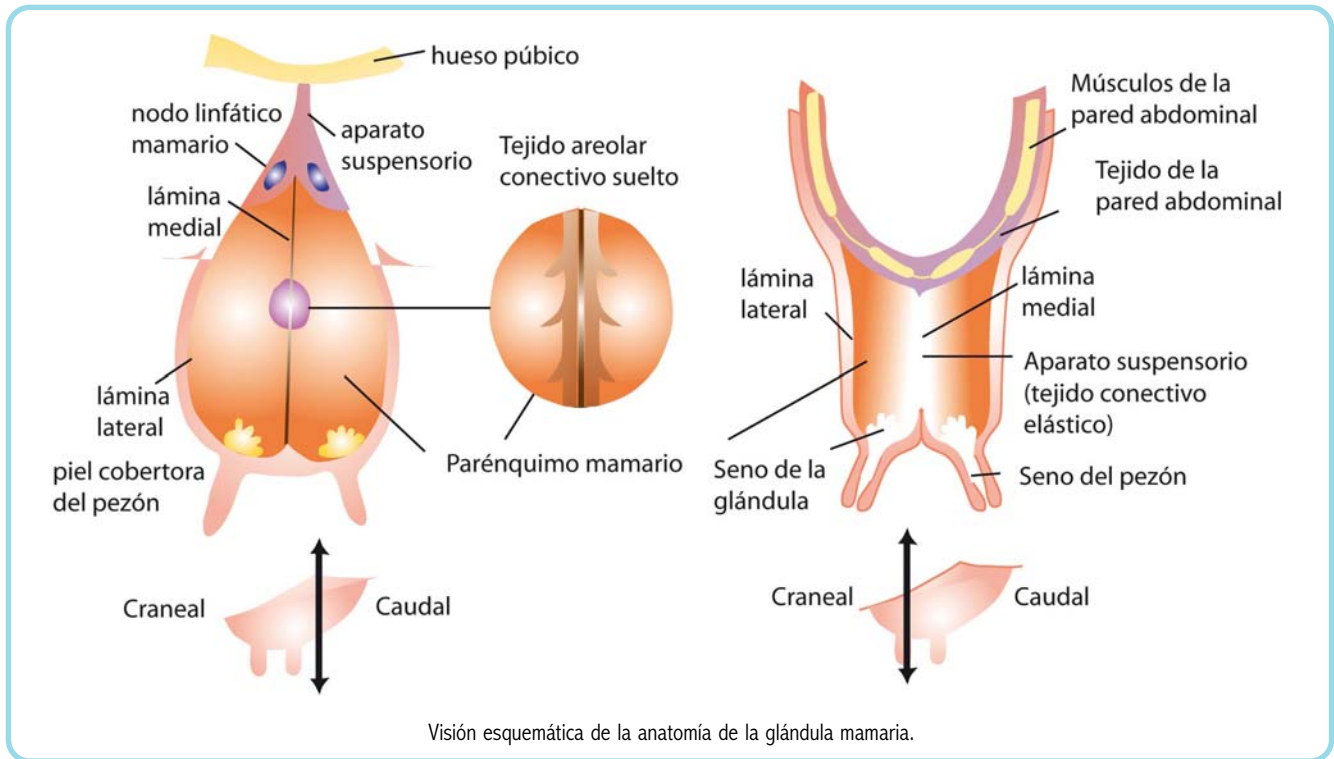


Vista posterior de la glándula mamaria mostrando la división de los cuartos traseros.

Cuando se observa de lado, la parte inferior de la ubre debe estar nivelada, extenderse anteriormente y fijarse con fuerza a la pared abdominal del cuerpo. La fijación en la parte posterior tiene que ser alta y amplia, y los cuartos individuales deben mostrar simetría. Esas características externas contribuyen a la productividad durante la vida y constituyen criterios importantes utilizados para valorar el **tipo del ganado lechero** en las exposiciones y para la calificación de razas. Las ubres deben de tener un tamaño suficiente para producir grandes cantidades de leche, pero no ser tan grandes que debiliten su fijación al cuerpo de la vaca.

En las vacas lecheras actuales, la ubre puede pesar entre 35 y 50 kg, debido a la gran cantidad de tejido secretor y de leche que se acumula entre ordeñas.

Las principales estructuras que soportan a la ubre son:



- a) Ligamento suspensorio medio.
- b) Ligamento suspensorio lateral.

Visión esquemática de la anatomía de la glándula mamaria

El ligamento suspensorio medio es un tejido elástico que fija la ubre a la pared abdominal. Cuando la vaca se observa desde atrás, un surco medial marca la posición del ligamento suspensorio medio.

La elasticidad del ligamento medio le permite actuar como un amortiguador cuando la vaca se mueve y también adaptarse a los cambios de tamaño y peso de la ubre con la producción de leche y la edad. Los daños o debilidad del ligamento suspensorio pueden ocasionar el relajamiento o descenso de la ubre, dificultándose el ordeño y exponiendo a los pezones a lesiones.

Es efectiva la selección genética para un ligamento suspensorio fuerte para minimizar estos problemas en la progenie.

En contraste con el ligamento suspensorio medio, el ligamento suspensorio lateral es un tejido fibroso poco flexible. Alcanza los lados de la ubre

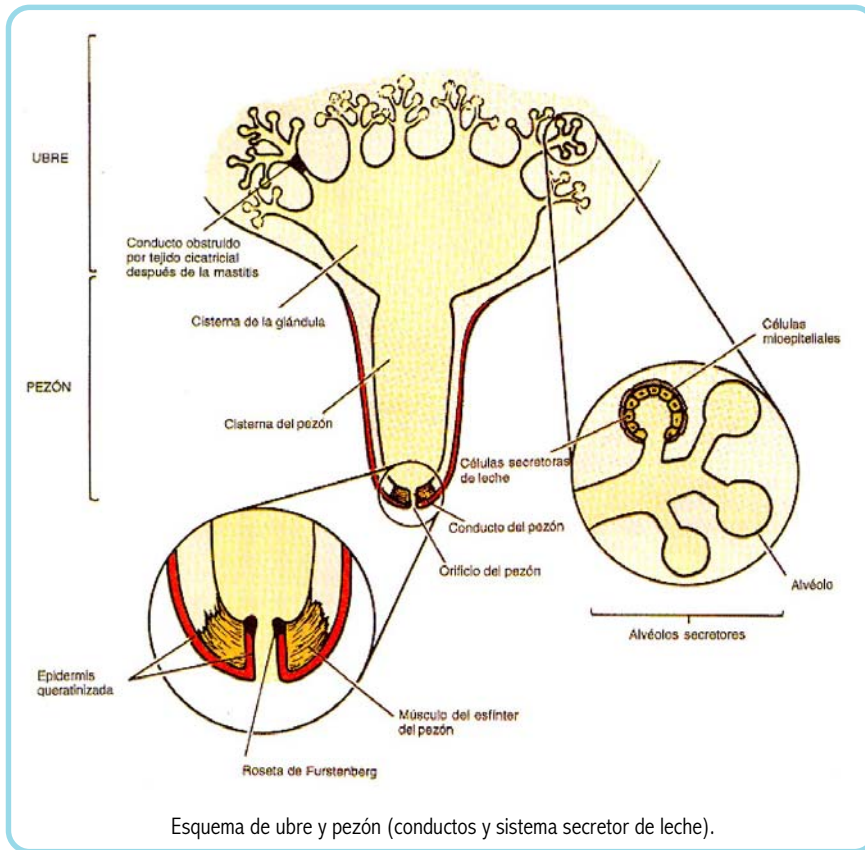
desde los tendones, alrededor de los huesos púbicos, para formar una estructura de soporte.

2. Sistema secretor de leche y conductos

Como ya se mencionó, la ubre es una glándula exocrina, debido a que la leche es sintetizada en células especializadas agrupadas en alveolos, y luego excretada fuera del cuerpo por medio de un sistema de conductos que funciona de la misma forma que los afluentes de un río.

El alveolo es la unidad funcional de producción. Este es una esfera hueca cuya pared es una sola capa de células secretoras de leche agrupadas. Los capilares sanguíneos y células mioepiteliales (células similares a las musculares) rodean el alveolo, y la leche secretada se encuentra en la cavidad interna (lumen). Las funciones del alveolo son:

- a) Recepción de los nutrientes o precursores circulantes en la sangre,
- b) Transformación de estos precursores en nutrientes de la leche,
- c) Descarga de la leche dentro del lumen.



suministra sangre que contiene nutrientes y hormonas para la síntesis de la leche, y retira productos de desecho de las células alveolares. De igual forma, hay una red de células musculares especializadas, las mioepiteliales, que son las que envuelven a cada alveolo. Estas se contraen en respuesta a la hormona oxitocina, obligando a la leche del lumen del alveolo a entrar a los conductos y a la cisterna glandular de los pezones.

La leche deja el lumen por medio de un tubo colector. Un lóbulo es un grupo de entre 10 a 100 alveolos que drenan por medio de un conducto en común. Los lóbulos en sí se encuentran organizados en unidades de mayor tamaño, que descargan la leche dentro de un conducto colector de mayor

Tanto los conductos terminales como los alveolos son microscópicos, y se componen de una capa simple de células epiteliales. La función de las células que forman estas estructuras es la de retirar nutrientes de la sangre, transformarlos en leche y descargar esta última en el lumen de cada alveolo.

La estructura de los túbulos terminales y alveolos varía con las etapas de la preñez, la lactancia y la involución mamaria. En la condición de desarrollo completo durante la lactancia, varios alveolos se agrupan en lobulillos, y varios lobulillos se reúnen en lóbulos, que son visibles a simple vista, siendo éste un patrón de desarrollo lóbulo alveolar.

Hay bandas de tejido conectivo que envuelven a los lobulillos y los lóbulos.

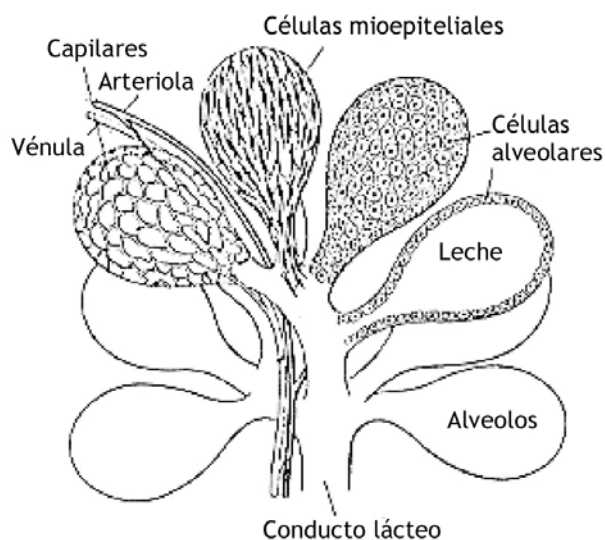
Los alveolos se fijan en fibrillas delicadas de tejido conectivo que se hacen más evidentes bajo el microscopio conforme las células secretoras se pierden durante la lactancia avanzada.

En torno a cada alveolo hay una red capilar que

tamaño que conduce a la cisterna de la glándula, que descansa directamente encima del pezón de la glándula.

Concretando, la ubre está compuesta de millones de alvéolos donde se secreta la leche. Los conductos forman canales de drenaje en los que la leche se acumula entre los ordeñas, aún así, sólo cuando las células mioepiteliales que recubren el alveolo y que los pequeños conductos se contraen en respuesta a la hormona oxitocina (reflejo de bajada de leche) es que la leche fluye dentro de los tubos galactóforos y hacia la cisterna de la glándula.

El pezón forma una especie de ducto ensanchado proyectado a la superficie de cada glándula y por medio del cual la leche puede ser extraída de la misma. Posee una piel suave que lo recubre y un vasto sistema de inervación e irrigación sanguínea. La punta de la teta se cierra con un anillo de músculo liso o esfínter llamado canal del pezón. En su extremo superior, el pezón se encuentra separado



Estructura alveolar de la glándula mamaria.

Adaptado de Cowie (1984).

de la cisterna de la glándula solamente por una serie de delicados pliegues de células sensitivas particularmente sensibles al daño. Estos pliegues de tejido se encuentran también en el otro extremo del pezón, directamente por encima del canal del pezón (roseta de Fürstenberg). De esta manera, el pezón está diseñado como una barrera para las células invasoras. La preservación de las estructuras normales del pezón es esencial para mantener los mecanismos de defensa naturales contra las bacterias productoras de mastitis. Las diferencias en la estructura del pezón, particularmente del diámetro y del largo, se encuentran relacionados con la susceptibilidad a la infección.

La leche de cada glándula se vacía a través del pezón. Las tetas posteriores son casi siempre más cortas que las delanteras. En general, las vacas con tetas largas requieren más tiempo para la ordeña que las de tetas cortas.

Las características más importantes de las tetas para el ordeño eficiente son:

- Tamaño moderado.
- Ubicación adecuada.

- Tensión suficiente del músculo esfinteriano en torno al orificio de las tetas, para permitir el ordeño con facilidad, evitando que la leche se derrame entre ordeños.

Entre el 25 y 50% de las vacas tienen tetas adicionales. Pueden estar, o no, conectadas directamente al tejido mamario al interior de la ubre. Es recomendación universal que las tetas adicionales se eliminen durante la primera etapa de vida, no sólo por su aspecto, sino también para eliminar vías potenciales de entrada en las ubres de organismos que provocan la mastitis.

Cisterna glandular

La cisterna de los pezones se une a la glándula en la base de la ubre y en muchas vacas hay un pliegue circular de tejido entre las dos cisternas.

En casos raros, cuando pare una vaquilla, ese pliegue puede separar completamente las dos cisternas y no es posible retirar la leche de la glándula. Esa condición da como resultado un cuarto no funcional, a menos que se retire quirúrgicamente la obstrucción. La cisterna glandular sirve como espacio limitado de almacenamiento para la leche conforme desciende del tejido secretor. En promedio, la cisterna glandular contiene cerca de 0.5 litros de leche; pero su capacidad real varía considerablemente entre las vacas. Sin embargo, el tamaño de la cisterna glandular no afecta de modo importante la producción de leche.

Conductos mamarios

Hay de 12 a 50 túbulos o más que se bifurcan de la cisterna glandular, muchas veces se dividen y, finalmente, forman un conducto en cada alveolo. Hay dos capas de células que no secretan leche. Los conductos grandes sólo sirven de almacenamiento y canal de drenaje para la leche.

Otros componentes de la glándula: sistema linfático

La linfa es un fluido claro que proviene de tejidos

altamente irrigados por la sangre. La linfa ayuda a balancear el fluido circulando hacia adentro y hacia afuera de la ubre y ayuda prevenir infecciones. Algunas veces el incremento de flujo sanguíneo en el comienzo de la lactancia conduce a una acumulación de fluidos en la ubre hasta que el sistema linfático es capaz de remover este fluido adicional. Esta condición, llamada edema de la ubre, es más común en novillas de primera parición y vacas más viejas con ubres pendientes.

Inervación de la ubre

Los receptores nerviosos en la superficie de la ubre son sensibles al contacto y a la temperatura. Durante la preparación de la ubre para el ordeño, estos receptores son estimulados y se inicia la "bajada de la leche", reflejo que permite su excreción. Las hormonas y el sistema nervioso se encuentran también involucrados en la regulación del flujo sanguíneo a la ubre. Por ejemplo, cuando una vaca se encuentra asustada o siente dolor físico, la acción de la adrenalina y del sistema nervioso reduce el flujo de sangre a la ubre, lo que inhibe el reflejo de bajada de la leche disminuyendo la producción láctea.

Desarrollo y crecimiento mamario normal

La cantidad de células sintetizadoras de leche es un factor importante que determina su nivel de producción: Las estimaciones actuales de la correlación entre el rendimiento de leche y la cantidad de células mamarias va de 0.5 a 0.85.

Desarrollo glandular en la preñez

Los alveolos no se desarrollan en las vaquillas hasta que se establece la preñez; después de ésta, los alveolos comienzan a reemplazar los tejidos grasos de la ubre.

Los índices externos para el crecimiento mamario son rápidos durante la preñez, sin embargo, debido al tamaño relativamente pequeño de las glándulas en las vaquillas en el momento de la concepción, el crecimiento de la ubre no es continuo, hasta después de tres o cuatro meses de preñez,

cuando comienzan a acumularse cantidades importantes de secreciones en los alveolos, lo que acontece entre el séptimo y noveno mes de la gestación. La mayor parte del crecimiento visible de la ubre, que se produce durante el último mes de la gestación, se debe a la acumulación de esas secreciones.

El reflejo de expulsión de la leche, implica la activación de nervios en la piel de los pezones, mismos que son sensibles al tacto y a la temperatura. Los impulsos neurales ascienden por la médula espinal a los núcleos paraventriculares del hipotálamo, y luego se desplazan a la hipófisis posterior, en donde provocan la descarga de oxitocina al torrente sanguíneo.

La oxitocina se difunde hacia afuera de los capilares en la ubre, provocando la contracción de las células mioepiteliales que rodean a los alveolos y los conductos menores. Esta acción de compresión incrementa la presión intramamaria y hace que la leche pase por los conductos a la cisterna glandular de los pezones.

Durante la lactancia

La cantidad de células mamarias sigue aumentando durante el comienzo de la lactancia, este desarrollo continúa probablemente hasta el punto máximo de la lactancia. Como resultado de ello, los alveolos se agolpan a comienzos de la lactancia. Posteriormente, el índice de pérdida de células mamarias sobrepasa al índice de división celular. El resultado es que la ubre contiene considerablemente menos células al final de la lactancia que al principio.

La mastitis provoca también la pérdida de células de la ubre. Naturalmente, la pérdida de células secretoras —ya sea por causas fisiológicas o patológicas— hace que se reduzca la producción de leche. Sin embargo, suele ser más sencillo mantener la cantidad de células mamarias que su índice de metabolismo.

El hecho de que una célula mamaria se mantenga durante la lactancia, no indica necesariamente que puede seguir sintetizando leche a un índice máximo continuo.

De cualquier forma, el mantenimiento de cantidades máximas de células mamarias lleva a una alta producción de leche, porque si no hay células no se puede sintetizar la leche.

Durante la lactancia y preñez simultáneas

Puesto que la mayoría de las vacas se cruzan dentro de los 70 o 90 días después del parto, una parte importante de la lactancia transcurre paralela a la preñez.

Las etapas iniciales de la preñez tienen relativamente pocos efectos sobre la producción de leche o la cantidad de células mamarias, sin embargo, cuando la preñez avanza más allá de los cinco meses, el rendimiento de la leche y la cantidad de células mamarias disminuyen, en comparación con los animales lactantes que no están en etapa de preñez.

Durante el periodo seco

El ordeño diario suele detenerse después de que la vaca lechera ha estado produciendo leche durante 10 a 12 meses.

Si la vaca está preñada, este periodo sin leche (periodo seco) se inicia habitualmente unos 60 días antes de la fecha señalada del parto.

Después del cese del ordeño diario, la ubre de la vaca no preñada se satura de leche durante unos cuantos días, pero la actividad metabólica de las células se reduce con rapidez. Posteriormente, hay una degeneración marcada y una pérdida de células epiteliales alveolares, aunque se pierden alveolos, permanecen las células mioepiteliales y el tejido conectivo. Histológicamente, las células grasas y de tejido conectivo se hacen más predominantes durante este periodo.

Después de la involución completa de la ubre, el sistema de conductos no se altera. Sin embargo, este último es más amplio en las vacas multíparas que en las vaquillas vírgenes.

Poco antes del parto, disminuyen las cantidades de progesterona, lo que elimina el bloqueo (y aumentan los niveles de estrógenos y ACTH, que

estimulan la secreción de corticoides adrenales y la prolactina. La administración de corticoides suprarrenales o estrógenos hará que se inicie la lactancia en algunas especies, pero no en otras.

El estímulo del ordeño que envía impulsos neurales al hipotálamo y a la hipófisis) iniciará la lactancia en las vaquillas a fines de la gestación. Este ordeño anterior de prolactina, ACTH y corticoides suprarrenales, hace que se inicie realmente la lactancia.

Mantenimiento de la lactancia

Después del parto hay un aumento rápido de rendimiento de leche en las vacas; que alcanza su máximo a las dos a seis semanas, luego disminuye gradualmente. El grado de mantenimiento de la producción de leche se denomina persistencia. Así, después de llegar al máximo, se puede calcular la disminución mensual de la producción de leche como porcentaje de la producción del mes anterior, este porcentaje es una medida de la persistencia que, por lo general, fluctúa entre 94 y 96%. Por lo común, las vacas lecheras dan leche 10 a 12 meses, no faltando casos de lactaciones que se prolongan hasta años sin interrupción.

Tasa de secreción de leche

La tasa de secreción de leche es rápida y relativamente constante durante 8 a 10 horas después de la ordeña, y más bajo inmediatamente antes y durante ésta. Sin embargo, conforme se acumula leche durante el intervalo entre ordeñas, la presión intramamaria aumenta y la tasa de secreción de leche por hora disminuye.

Reflejo de expulsión de la leche

La pequeña cantidad de leche presente en las cisternas y los grandes conductos de la ubre se pueden retirar simplemente al superar la resistencia del músculo esfinteriano que rodea al canal estriado del pezón, sin embargo, la mayor parte de la leche presente en la ubre debe forzarse a que salga de los alveolos y

los pequeños conductos de la leche mediante la activación de un reflejo neurohormonal, también denominado "descenso" o expulsión de la leche.

Irrigación sanguínea y estructuras capilares

La producción de leche demanda de gran cantidad de nutrientes, traídos a la ubre por la sangre. Para producir 1 kg de leche, deben pasar por la ubre de 400 a 500 kg de sangre. Además, la sangre lleva hormonas que controlan el desarrollo de la ubre, la síntesis de leche, y la regeneración de células secretoras entre lactancias (durante el periodo de seca).

Secreción de leche

La secreción de leche por medio de las células secretoras es un proceso continuo que involucra muchas reacciones bioquímicas. Entre ordeños, la acumulación de leche incrementa la presión en el alveolo y disminuye el grado de síntesis de leche. Como resultado, se recomienda que las vacas de alta producción que se ordeñan dos veces al día, sean ordeñadas lo más cerca posible a un intervalo de 12 horas (las mejores deben ordeñarse a primera hora en la mañana y a última hora de la tarde). Una expulsión frecuente de leche reduce la presión que se acumula en la ubre. Ordeñar tres veces por día puede incrementar la producción de leche de 10 a 15%.

La glucosa como precursora en la célula secretora

Es un hecho que la glucosa en la dieta se fermenta totalmente en el rumen, transformándose en ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico), necesaria en grandes cantidades para la ubre lactante. El hígado transforma el ácido propiónico nuevamente en glucosa que es transportada por la sangre a la ubre donde es asimilada por las células secretoras. La glucosa puede ser utilizada como una fuente de energía para las células, como unidades de edificación de la galactosa y, subsecuentemente, lactosa,

o como fuente del glicerol necesario para la síntesis de grasa.

Regulación del volumen de leche

La cantidad de leche que se produce es controlada primariamente por la cantidad de lactosa sintetizada por la ubre. La secreción de lactosa dentro de la cavidad del alveolo incrementa la concentración de sustancias disueltas (presión osmótica) con relación al otro lado de las células secretoras, donde circula la sangre. Como resultado, la concentración de sustancias disueltas en cada lado de las células secretoras se balancea, atrayendo agua desde la sangre y mezclándola con otros componentes que se encuentran en la cavidad de los alveolos. Para la leche normal, se alcanza el balance cuando existe 4.5 a 5% de lactosa en la leche. Por lo tanto, la lactosa es la válvula que regula la cantidad de agua que se arrastra dentro del alveolo y, por consiguiente, el volumen de leche producido.

La dieta tiene un efecto importante en la producción de leche:

- La cantidad de energía en la dieta induce la producción de propionato en el rumen.
- El propionato disponible influye en la cantidad de glucosa que se sintetiza en el hígado.
- La glucosa disponible influye en la cantidad de lactosa que se sintetiza en la glándula mamaria.
- La lactosa disponible influye en la cantidad de leche producida por día.

Síntesis de proteína

Las caseínas que se encuentran en la leche son sintetizadas a partir de aminoácidos que son asimilados de la sangre bajo el control del material genético (DNA). Estas proteínas son empaquetadas en micelas antes de ser liberadas en el lumen de los alveolos. El control genético de la leche sintetizada en el alveolo proviene de la cantidad de la lactoalbúmina sintetizada por las células secretoras;

esta enzima es un regulador importante de la cantidad de lactosa y leche que se produce por día.

Las inmunoglobulinas son sintetizadas por el sistema inmune, y estas grandes proteínas generalmente son extraídas desde la sangre dentro de la leche. La permeabilidad de las células secretoras para las inmunoglobulinas es alta durante la síntesis de calostro, pero decrece rápidamente con el comienzo de la lactancia.

Síntesis de grasa

El acetato y el butirato producido en el rumen son utilizados, en parte, como las unidades de construcción de los ácidos grasos de cadena corta que se encuentran en la leche. El glicerol necesario para unir tres ácidos grasos en un triglicérido proviene de la glucosa. Cerca de 17 a 45% de la grasa en la leche se forma del acetato y de 8 a 25% del butirato. La composición de la dieta posee una influencia muy importante en la concentración de grasa. La falta de fibra deprime la formación de acetato en el rumen, lo que a su vez resulta en una reducción de la proporción de grasa en la leche (2 a 2.5%).

Los lípidos movilizados de las reservas corporales al comienzo de la lactancia son unidades de construcción para la síntesis de grasa. Sin embargo, en general, solamente la mitad de la cantidad de ácidos grasos en la grasa de la leche son sintetizados en la ubre; la otra mitad proviene de los ácidos grasos de cadena larga que se encuentran en la dieta. Por lo tanto, la composición de la grasa de la leche puede encontrarse alterada por la manipulación del tipo de grasa en la dieta de la vaca.

Lactación

Una curva de lactación describe la producción de leche de una vaca desde el fin de la fase calostrual (2-3 días) hasta el momento del secado. Su duración aproximada es de 300 días.

Una curva de lactación graficada, muestra el pico de producción, la persistencia y los efectos de eventos específicos en la producción láctea.

Debido a que la forma de la curva de lactación

es regularmente constante, la producción de leche en la parte inicial de la curva puede ser usada para predecir la producción en la lactación completa.

El pico de producción marca la pauta de la lactación completa. Las vacas primerizas tienden a dar curvas más chatas, ya que el pico de lactación es 25% menor que el de las vacas adultas.

Las vacas adultas, aunque alcanzan mayores picos, no muestran gran persistencia después del pico.

Guía de estimación de la producción láctea a los 305 días (Factores de proyección)

| Mes de lactación | Días en leche | 1ª lactación | 2ª y posteriores |
|------------------|---------------|--------------|------------------|
| 1 | 16 | 0.348 | 0.371 |
| 2 | 46 | 0.409 | 0.421 |
| 3 | 77 | 0.397 | 0.400 |
| 4 | 107 | 0.381 | 0.376 |
| 5 | 138 | 0.362 | 0.350 |
| 6 | 168 | 0.344 | 0.326 |
| 7 | 199 | 0.323 | 0.299 |
| 8 | 299 | 0.301 | 0.276 |
| 9 | 260 | 0.277 | 0.249 |
| 10 | 290 | 0.249 | 0.211 |

Fuente: Canadian Dairy Information Center. Dairy production lactation curve. <http://animsci.agrenv.mcgill.ca/courses/450/topics/11.pdf>.

Ejemplo: Una vaca adulta que produce 25 kg de leche el día 77 de lactación, se espera que, en toda la lactación, produzca 6,250 kg, ya que 25 kg se divide por el factor 0.400 de la 2ª columna, entonces:

$$25/0.4 \times 100 = 6250 \text{ kg}$$

Persistencia

El grado de declinación de la producción de leche después del pico, se denomina persistencia. Esta se calcula dividiendo la leche producida en el mes, entre la cantidad de leche producida el mes anterior y se expresa como porcentaje. En promedio, la persistencia varía de 94 a 96%.

Ejemplo: La leche de cada mes sucesivo postpico

es aproximadamente a 95% del mes anterior. Después del pico de producción, la declinación diaria es de 0.2% en primerizas, llegando a 0.3% en adultas.

Análisis de la curva de lactación

El análisis de la forma de la curva de lactación ayuda a identificar problemas de alimentación y manejo. La alta producción demanda altos picos y persistencia. Por cada kilogramo extra en el pico de producción, se producirán de 200 a 230 kg extra de leche durante el periodo completo de lactación.

Es más fuerte la correlación entre pico y producción por lactación que persistencia y producción total. De esta forma, los productores deben usar el pico como guía de manejo para monitorear el rendimiento lechero en la lactación en lugar de la per-

sistencia.

Son válidos los factores de ajuste de 250, 220 y 230 para estimar lactaciones completas a partir del pico de vacas primerizas, de segunda lactación y de más de 2 lactaciones.

Ejemplo: Si una vaca primeriza alcanza un pico de 32 kg, entonces su lactación estimada será:

$$250 \times 32 = 8,000 \text{ kg, estimados por lactación.}$$

La baja persistencia puede ser genética. Factores de estrés derivado del manejo también pueden causar baja persistencia.

Si las vacas no alcanzan los picos esperados, hay que revisar su alimentación y manejo

Lactaciones cortas pueden deberse a factores de alimentación, vacas sobrecondicionadas, o factores genético.

