Sistema reproductivo del ganado lechero

LA VIDA REPRODUCTIVA DE LA VACA

En el reino animal, hay diferentes estrategias para asegurar la reproducción y la supervivencia de las especies. En peces y reptiles, las hembras liberan numerosos huevos. Cada uno consiste de un embrión rodeado por nutrientes y usualmente una cobertura protectora.

Muchos huevos se pierden debido a que no encuentran el medio ambiente apropiado donde crecer o debido a que predadores los destruyen. Como contraste, los mamíferos producen menos células reproductivas y protegen al embrión recientemente formado durante los estadíos tempranos de desarrollo (hasta el nacimiento), lo que mejora el porcentaje de supervivencia.

La producción de descendencia, o reproducción, involucra procesos muy complicados que toman lugar en órganos delicados. Una exitosa reproducción es la llave de una exitosa explotación lechera ya que, sin reproducción, no habrá producción de leche (Figura 1.1). Animales estériles no se pueden reproducir. Aún en explotaciones lecheras bien manejadas, las vacas se reproducen frecuentemente a un ritmo inferior al óptimo para la especie. Un rendimiento reproductivo pobre produce serias consecuencias para la rentabilidad del hato lechero debido a:

- Pérdidas en producción en relación a la vida de la vaca;
- Incremento de los costos directos debido al tratamiento de desórdenes reproductivos y establecimiento de una nueva preñez;
- Progreso genético lento del hato debido a reducidas opciones de descarte. Muy frecuentemente, una vaca que debería descartarse por baja producción de leche, debe quedarse en el hato para reemplazar una vaca de buena producción de leche que posee desórdenes reproductivos o es infértil.

Figura 1.1: Producción de leche y ciclo reproductivo se encuentran estrechamente ligados.
La concepción debe ocurrir de 80 a 90 días luego del nacimiento para mantener un intervalo de 365 días. Las formas de las curvas de lactancia difieren de un sistema de manejo lechero a otro. Los círculos durante los períodos de "vacía" representan ciclos estrales de 21 días.

Para obtener un ternero por vaca por año (intervalo entre parto de 365 días) la concepción debe ocurrir 80 a 90 días luego del parto, ya que la preñez dura aproximadamente 282 días.

En una novilla bien desarrollada, la pubertad, o el comienzo de la madurez sexual, ocurre aproximadamente a los 10 meses de edad. En las regiones tropicales del mundo, la pubertad en novillas puede ocurrir mas tarde (14 meses de edad o más).

Cuando el ciclo estral comienza, las novillas muestran signos de celo cada 21 días. En condiciones ideales, una novilla debe recibir servicio a los 15 o 16 meses de edad para parir por primera vez (primípara) a la edad de 24 o 25 meses. Luego de ello, una vaca debe de parir cada 12 o 13 meses. Un intervalo entre partos largo (13 a 14 meses) es aceptable solo cuando una vaca produce grandes cantidades de leche (por ejemplo, mas de 9000 kg de leche por lactancia). Animales responsables por importantes pérdidas económicas son:

- Novillas que no han alcanzado un adecuado tamaño y desarrollo físico para ser servidas a los 15 meses de edad;
- Vacas con baja fertilidad (con intervalos entre partos mayores a 15- 16 meses).

La Tabla 1.1 y Figura 1.1 presentan algunas características generales de los patrones reproductivos de las vacas lecheras.

EL TRACTO REPRODUCTIVO DE LA VACA DESCRIPCION

Para producir exitosamente un ternero a intervalos regulares, los órganos reproductivos de la vaca deben llevar a cabo exitosamente los siguientes cinco pasos:

- Producir células germinales viables (óvulos);
- Transportar el óvulo al lugar de fertilización (el oviducto);
- Proveer de un ambiente ideal para la fertilización, desarrollo embrionario, implantación del embrión en el cuerpo del útero, y desarrollo del feto a término;
- Parir un feto vivo y sano al final de la gestación;

- Expulsar la placenta (luego de parir) y retomar su tamaño y condición normal de manera que el proceso pueda volver a repetirse.

El tracto reproductivo de la vaca se encuentra debajo del recto, el último segmento del intestino grueso (Figura 1.2). La mayor parte del tracto reproductivo puede ser palpado indirectamente cuando un brazo es colocado dentro del recto (palpación rectal):
- El cervix puede ser manipulado durante la inseminación artificial;
- Las estructuras de los ovarios pueden ser identificadas;
- La presencia de un embrión en crecimiento en el útero puede ser detectada (detección de preñez).

Tabla 1.1: Patrones reproductivos en vacas lecheras*

Característica Promedio Rango normal Edad a la pubertad, meses 10 6-14 Duración del ciclo estral, días 21 18-24 Estro (celo), horas 18 10-24 Ovulación, horas luego del celo 11 5-16 Gestación, dias Ayrshire 278 Jersey 278 Holstein 278 Shorth Lechero 282 Guernsey 283 Pardo Suizo 288 *Etgen, W.E., R.E. James; P.M. Reaves. In Dairy cattle feeding managemen 1987. Editor: John Wiley, New York.

El útero, oviducto, y ovarios están suspendidos en la cavidad corporal por un ligamento ancho. Esta posición le permite al útero alojar un feto en crecimiento.

Figura 1.2: Ubicación y ampliación de las partes del tracto reproductivo de una vaca lechera.

Vulva

La vulva es la porción más posterior del tracto reproductivo y la única parte visible desde el exterior de la vaca. La vulva aumenta de tamaño y se torna rojiza en cercanías del estro (celo) en respuesta al estrógeno, la hormona responsable del estro.

Vagina
La vagina es un tubo colapsado, de normalmente unos 30 cm de largo. Se apoya sobre el hueso pubis que forma el borde inferior del canal pelviano. La vagina es el sitio donde se deposita el semen durante la inseminación natural (servicio). La vagina también sirve de pasadizo para el instrumento utilizado durante la inseminación artificial y para el ternero durante el nacimiento. Glándulas productoras de mucus bordean el epitelio de la vagina y secretan un mucus acuoso y claro que lubrica la vagina y la lava de cualquier material extraño (organismos infecciosos) que podrían causar irritación o infección. A pesar de este mecanismo de defensa, la vagina es infectada frecuentemente, especialmente durante el período de celo y luego del parto.

Cervix

El cervix, que controla el acceso al útero, se constituye de capas musculares y tejido conectivo con pliegues en forma de anillo. Posee 10 a 13 cm de largo y 2.5 a 5 cm de diámetro y está perforado en el centro con una estrecha abertura (Figura 1.3). Los pliegues forman bordes prominentes que rodean el interior de la abertura. Estos pliegues actúan parcialmente como "sacos ciegos" disminuyendo el avance de cualquier material invasivo extraño. El cervix es un túnel de control muy efectivo entre la vagina y el útero. Se encuentra ligeramente dilatado (abierto) durante el período de celo y muy dilatado durante el parto. Durante la gestación, no obstantese encuentra contraído y completamente cerrado. El cervix secreta mucus que fluye hacia afuera con las secreciones vaginales. Durante la preñez, las secreciones cervicales se tornan mas espesas y forman un tapón firme y gelatinoso, cerrando completamente el útero a las influencias externas. Los pliegues y las paredes gruesas del cervix pueden llegar a sentirse por palpación rectal.

Figura 1.3: Vista de la abertura del cervix (tamaño normal) que desemboca en la vagina. (Nota: La vagina ha sido disectada para obtener esta toma).

Utero

El útero es parte del tracto reproductivo donde el ternero en desarrollo es mantenido. El útero de una vaca vacía consiste de un cuerpo de menos de 5 cm de largo, y de cuernos derecho e izquierdo que se doblan como los cuernos de un carnero. Los cuernos son mas grandes en diámetro en el cuerpo del útero y se vuelven mas estrechos cerca del oviducto. El útero es un órgano muscular capaz de una expansión enorme para alojar un feto en crecimiento. Hacia el final de la preñez, el útero contiene un ternero de 35-45 kg, 20-30 kg de líquidos, y 5 kg de tejido placentario (luego del parto). El útero es sostenido dentro de la cavidad abdominal por medio del ligamento ancho insertado en la columna vertebral. Los músculos que rodean el útero son llamados músculos lisos ya que se contraen involuntariamente (como el corazón). La hormona oxitocina regula las contracciones del útero que causan la expulsión del feto en el parto. Luego del parto, el útero retorna gradualmente a su tamaño y forma normal. Este proceso es llamado involución.

Oviductos (Trompas de Falopio)

Los oviductos son dos tubos contorneados de mas de 20 cm de largo y solo 0.6 cm de diámetro que unen cada cuerno uterino con uno de los dos ovarios de la vaca. La unión entre el útero y el oviducto está, en general, fuertemente cerrada exceptuando cortos períodos de tiempo para permitir a los espermatozoides el movimiento hacia arriba dentro de los oviductos si la inseminación se ha producido, y permitir el descenso al útero del huevo fertilizado si se produjo la fertilización. En el otro extremo, el oviducto no está ligado al ovario, pero se encuentra extendido como un embudo, estructura que se llama infundibulum. Esta estructura colecta el huevo que es expelido del ovario en el momento del estro.

Mientras que las cilias ayudan a transportar el huevo hacia abajo en el oviducto, los espermatozoides móviles se mueven hacia arriba para encontrarse con el óvulo en la porción superior del oviducto. Generalmente un espermatozoide penetra el óvulo y el material genético del espermatozoide y del óvulo se fusionan para formar una nueva célula llamada cigoto, que posee el material genético completo característico de la especie. Este proceso, llamado fertilización, ocurre 11 horas luego de la ovulación. El nuevo cigoto se multiplica muy rápidamente, pero se mantiene en el oviducto por tres o cuatro días antes de descender dentro del útero. Este período de tiempo es necesario para que el útero se prepare para recibir al embrión en crecimiento.

Ovarios

En una vaca vacía, los ovarios son ovales (con forma de huevo), con aproximadamente 4-6 cm de largo y 2-4 cm de diámetro. A pesar de que los ovarios son relativamente pequeños
(Figura 1.4), contienen miles de óvulos. Estos óvulos fueron creados antes del nacimiento de la vaca, y sólo unos pocos se desarrollarán durante la vida reproductiva de la vaca. Las principales funciones del ovario son:

- Producir un óvulo maduro cada 21 días cuando la vaca tiene un un ciclo estral normal;
- Secretar hormonas que:

— Controlan el crecimiento de un óvulo dentro del ovario;

— Cambian la conducta de la vaca durante el estro;

— Preparan el tracto reproductivo para una posible preñez.

Las hormonas producidas por el ovario son importantes por muchas razones:

- Preparan los órganos para la preñez;
- Detienen el ciclo estral, mantienen la preñez cuando el óvulo es fertilizado;
- Expulsan el feto en el momento del parto;
- Preparan la glándula mamaria para la lactancia.

Hacia el final del ciclo estral, cuando el óvulo alcanza la madurez, es envuelto por numerosas células pequeñas y rodeado por substancias nutritivas. Esta estructura completa es llamada folículo (Figura 1.5). Durante la ovulación, el óvulo es expelido desde el ovario hacia el oviducto. Las células que permanecen en el ovario se multiplican rápidamente y forman otra estructura llamada cuerpo lúteo (cuerpo amarillo), que es responsable por la secreción de una hormona llamada progesterona. El cuerpo lúteo se forma en el ovario si la cópula o la fertilización hayan tenido lugar o no.

Huevo u óvulo

El huevo, u óvulo, es la célula reproductiva femenina. Generalmente, las células del cuerpo del animal contienen dos copias de cromosomas que llevan la información genética. De todas maneras, el óvulo contiene solo una copia de la información genética (un solo juego de cromosomas). Los óvulos son encontrados en el ovario aún antes del nacimiento de la vaca, pero la maduración de los óvulos comienza con la madurez sexual en la pubertad. Muchos folículos que contenien óvulos pueden crecer durante el ciclo estral, pero solamente un folículo se desarrolla, madura completamente, y ovula durante cada ciclo (Figuras 1.5, 1.6). El ciclo se repite hasta que un óvulo maduro es fertilizado, esto significa, combinarse con un espermatozoide que contiene la información genética complementaria del toro, para producir la preñez. Para una explicación mas detallada de la regulación del ciclo estral, referirse al Apéndice del Capítulo 1.

Figura 1.4: Ovario de una vaca mostrado en su tamaño real

Figura 1.5: Estructuras del ovario en diferentes estadíos del ciclo estral. El crecimiento folicular culmina con la expulsión del óvulo maduro desde el ovario, horas después que la vaca ha expresado signos de celo (ovulación). Luego de ello, el cuerpo lúteo se trans-forma en la estructura predominante. Un folículo maduro posee un diámetro de 15-18 mm. El cuerpo lúteo maduro es una estructura mas grande con un diámetro de 25 mm.

Figura 1.6: Un óvulo dentro de un folículo (tamaño real = 0.25 mm).

ANORMALIDADES ANATOMICAS

Las anormalidades del tracto reproductivo son responsables del 10 o 20% de la infertilidad en las vacas lecheras. Pueden deberse a raros desórdenes genéticos (por ejemplo, cerviz cerrado). Mas frecuentemente, se deben a lesiones ocurridas durante el parto (por ejemplo, cuando la placenta retenida es removida usando una excesiva tracción manual, o cuando el tracto reproductivo es palpado de manera brusca). Noventa porciento de las novillas nacidas como gemelas de un macho son estériles (son llamadas freemartins), pero el macho es fértil. Esta condición resulta de la secreción por parte del macho de la hormona testosterona antes del nacimiento. La secreción de testosterona inhibe el crecimiento de los órganos reproductivos de la hembra gemela. Como resultado, la vagina se encuentra frecuentemente cerrada en la novilla freemartin. Existe un simple ensayo para determinar si esta condición se encuentra presente. Un tubo estéril, al insertarse dentro de la vagina, se introduce una corta distancia, el mismo tubo en una novilla normal se introduce, por lo menos, 15 cm.

EL CICLO ESTRAL

El ciclo estral es el período de tiempo entre dos períodos de celo o estro (Figura 1.7). La duración del ciclo estral promedia los 21 días, pero ciclos de entre 18 a 24 días son normales. Algunas veces, el ciclo estral parece ser "anormalmente" corto o largo. Un ciclo aparentemente corto (10 a 16 días) puede ocurrir como consecuencia de un error en la detección de celo. Basándose en la conducta de la vaca, ella puede ser declarada en celo cuando en realidad no lo está. Cuando los signos de celo "reales" mas tarde se presentan, se asume que la vaca ha tenido un celo corto. Un ciclo de 30 a 35 días puede ocurrir debido a un error en la detección o puede reflejar muerte precoz de un embrión. Finalmente,

ciclos estrales de 36 a 48 días u otros múltiples de 18 a 24 días, son probablemente una falla de la detección de celo.

FASES DEL CICLO

El ciclo estral se divide en cuatro fases diferentes pero continuas: proestro, estro o período de celo, metaestro y diestro (Figura 1.7).

Proestro

La fase de proestro es la transición entre el final de un ciclo y el comienzo de otro. La fase de proestro dura de uno a tres días (día 20 y 21 del ciclo). Se caracteriza por una caída del cuerpo lúteo del ciclo que termina y la maduración final del folículo del ciclo que comienza. Figura 1.6: Un óvulo dentro de un folículo (tamaño real = 0.25 mm).

Estro o Celo

El estro o período de celo dura ocho a 30 horas y es el período de receptividad sexual (Día 1 del ciclo-ver Figura 1.7). Es el único momento que la vaca se dejará montar por el toro u otras vacas. Esta conducta es típica de vacas Bos taurus (ganado doméstico Europeo) pero menos marcado en Bos indicus (ganado Brahman o ganado con jiba). El acto de aceptar la monta es el mejor indicador de que la vaca está en celo. Durante el estro, el folículo y el óvulo, alcanzan los estadíos finales de maduración.

El acto de aceptar la monta es el mejor indicador de que la vaca está en celo.

Metaestro

El folículo es expulsado del ovario hacia dentro del oviducto (ovulación) 10 a 14 horas luego del último signo de celo. Durante el metaestro, la pared rasgada del folículo que queda en la superficie del ovario desarrolla el cuerpo lúteo. Esta fase dura aproximadamente tres días (días 2 a 5 del ciclo).

Figura 1.7: El ciclo estral de la vaca lechera

Diestro

El diestro dura aproximadamente 12 a 15 días (día 6 a 18 del ciclo). Durante esta fase, el cuerpo lúteo es grande y totalmente funcional. Existe también algo de crecimiento de los folículos durante el diestro, pero esos folículos no pueden madurar totalmente hasta que el cuerpo lúteo regresa.

En el día 1 o 2 del ciclo, unos pocos folículos comienzan su desarrollo. Un folículo dominará a los otros. El primer folículo dominante realizará una etapa de crecimiento para luego involucionar en un período de 11 a 12 días. Dos a cuatro ondas de crecimiento folicular pueden producirse durante el ciclo. Los folículos dominantes involucionarán siempre que el cuerpo lúteo se encuentre activo. De todas formas, cuando el cuerpo lúteo involuciona, un folículo dominante emerge, alcanza la total madurez y eventualmente ovula. Los ciclos estrales son mas largos cuando el número de ondas foliculares se incrementa. Ciclos de dos ondas foliculares son cortos (18 a 20 días) y cuatro ondas foliculares tienden a ser mas largos (22 a 24 días).

En los días 16 a 18 del ciclo, el cuerpo lúteo comienza a involucionar. El útero de la vaca puede detectar la presencia o ausencia de un embrión. Si la vaca no está preñada el útero envía una señal al cuerpo lúteo que involuciona y permite que el ciclo se vuelva a repetir. No obstante, si el óvulo ha sido fertilizado y la vaca está preñada, el cuerpo lúteo no involucinará y continuará produciendo hormonas para inhibir el desarrollo final de los folículos y para mantener la preñez. Una descripción mas completa de las hormonas involucradas en la regulación del ciclo estral y la preñez es

presentado en el Apéndice del Capítulo 1 (p. 15).

ORGANOS REPRODUCTORES DEL TORO

DESCRIPCION Y FUNCION

El toro produce las células sexuales masculinas o espermatozoides. Aunque los organos sexuales se desarrollan y producen hormonas antes del nacimiento, la producción de espermatozoides comienza solo en la pubertad. La mayoría de los toros alcanzan la pubertad entre los siete a nueve meses de edad, pero el número de espermatozoides que se forman a esa edad es bajo. Aún a edades de 12 a 18 meses, la producción de espermatozoides es solo la mitad de la de un toro adulto. Los espermatozoides son necesarios para fertilizar un óvulo y producir la preñez. Los espermatozoides son generados en dos testículos que son los órganos sexuales primarios del toro. Los órganos sexuales secundarios son los conductos: epidídimos, vasos deferentes y el pene que es atravesado por la uretra y conduce al exterior. La uretra se conecta también con la vejiga. Por lo tanto la uretra es un pasaje común para la orina y las secreciones sexuales. Antes de que el semen es eyaculado, los espermatozoides se mezclan con las secreciones de los órganos sexuales secundarios: la próstata, las dos vesículas seminales y las dos glándulas de Cowper (Figura 1.8).

Algunos toros aparentemente poseen un solo testículo en el escroto. En la pubertad, los testículos descienden normalmente desde la cavidad abdominal hacia el escroto. Algunas veces, no obstante, un testículo permanece en la cavidad abdominal. El testículo que desciende producirá semen y el toro será fértil. Debe destacarse que esta condición es heredable y que a estos toros no debe permitírsele servir para evitar la propagación de este defecto. Cuando los dos testículos permanecen en la cavidad abdominal el toro es estéril.

Escroto

El escroto es el saco que se encuentra por fuera de la cavidad abdominal contiendo los testículos. Mediante ajustes en la distancia entre los testículos y el cuerpo, el escroto regula la temperatura en los testículos. Esto es necesario ya que la producción de semen es sensible a la temperatura. La temperatura corporal normal es demasiado alta para la producción de semen. Dependiendo de la temperatura ambiente, la temperatura dentro del testículo es de 2 a 4°C mas baja que la temperatura corporal.

Figura 1.8: El tracto reproductivo del toro

Testículos

Los testículos poseen dos funciones principales:

1) Producir espermatozoides fértiles y viables;

2) Producir las hormonas masculinas.

Cada testículo se encuentra envuelto en su propio compartimento y es una unidad completa en si mismo. Los testículos están suspendidos en el escroto, que se encuentra visible desde afuera del abdomen. A la madurez, un testículo es 10 a 13 cm largo y 5 a 6 cm ancho, y pesa aproximadamente 500 grs. El testículo se encuentra formado principalmente por túbulos pequeños (tubos seminíferos) donde se realiza la producción de semen. Un túbulo posee un diámetro de 0.2 milímetros pero el largo total de los túbulos de un toro maduro ha sido estimado en 4 o 8 kilómetros. A medida que los espermatozoides maduran, se mueven hacia un conducto en el centro del túbulo. Los testículos también producen un fluido que nutre y transporta a los espermatozoides que se forman hacia el epidídimo. Algunas células especializadas (células de leydig o intersticiales) están dispersas en el tejido de los testículos y son la fuente principal de hormonas masculinas. La terminología general para las hormonas masculinas es andrógenos. Un andrógeno, llamado testosterona, es considerado la principal hormona sexual masculina. Estas hormonas son secretadas por células intersticiales del

testículo bajo la influencia de una hormona secretada por la glándula pituitaria (LH). Las hormonas masculinas son necesarias para:
- El comienzo y mantenimiento de la producción de semen;
- Impulso sexual (libido);
- Desarrollo y mantenimiento de los órganos y rasgos sexuales secundarios.

Epidídimo

El epidídimo es una estructura tubular ubicada a lo largo de uno de los bordes del testículo (Figura 1.8). Está lleno de una secreción lechosa (substancias nutritivas) y de los espermatozoides que vienen del testículo. Generalmente el epidídimo contiene de 2,6 x 109 a 4,9 x 109 espermatozoides por mililitro (1 x 109 = 1,000,000,000). Los espermatozoides se acumulan y maduran durante el viaje a través del epidídimo, que en los toros, puede llegar a ser de 33 a 35 metros de largo.

Vaso deferente y ampolla

El vaso deferente lleva los espermatozoides dentro de la cavidad abdominal hacia la pelvis y finalmente hacia el interior de la uretra. Se encuentra rodeado por músculos que se contraen durante la eyaculación. El vaso deferente aumenta de tamaño en la región pelviana para formar la ampolla de Henle (10 a 18 cm de largo). Los espermatozoides se acumulan en la ampolla y se mezclan con substancias nutritivas (Figura 1.8).

Uretra

La uretra es el pasaje común para la excreción de orina y semen (el producto de los testículos y glándulas accesorias). Se extiende a través de la región pelviana y el pene y termina en la punta del pene como un orificio externo (Figura 1.8).

Organos sexuales accesorios

El producto de las tres glándulas accesorias es eyaculado casi instantáneamente por el toro. Las dos vesículas seminales pueden contener cerca de 50 ml de secreción constituida principalmente por azúcares con un alto valor nutritivo para el espermatozoide. La secreción de la próstata no está bien entendida. Las glándulas de Cowper secretan una substancia lubricante de composición desconocida. La secreción de las glándulas accesorias es altamente dependiente de la presencia de hormonas sexuales masculinas.

Pene

El pene es un tejido eréctil compuesto de canales sanguíneos similares a una esponja. Cuando el toro es estimulado sexualmente, el pene se llena de sangre a gran presión. Esto provoca el alargamiento del pene y se pone rígido permitiendo su inserción en la vagina de la vaca. El pene del toro es de aproximadamente un metro de longitud y 2.5 cm de diámetro. Por detrás del escroto forma una curva en forma de "S" que se extiende durante el apareamiento. El músculo retractor tracciona al pene extendido y lo lleva a su posición original cuando se encuentra relajado.

LA FORMACION DE ESPERMATOZOIDES

Luego de la pubertad, la formación de espermatozoides es un proceso continuo en el toro. La formación de espermatozoides es controlada por el sistema endócrino. Las hormonas de la pituitaria (FSH y LH) son importantes en la estimulación del testículo para producir espermatozoides y la hormona sexual masculina (testosterona). La formación de espermatozoides comienza en el testículo e involucra múltiples divisiones de las células incluyendo una división que reduce el número de cromosomas. La madurez final del espermatozoide se realiza en el epidídimo. El espermatozoide totalmente maduro posee una "cabeza" que contiene el material genético y una "cola" que le otorga motilidad (Figura 1.9). La formación del espermatozoide toma 64 a 74 días y 14 a 18 días de viaje por el epidídimo. Es por ello que los síntomas de infertilidad de un toro pueden ocurrir dos meses y medio a tres luego de que el proceso de formación de espermatozoides ha sido afectado. Un toro maduro produce en promedio 70 x 109 (70 billones) de espermatozoides por

semana. La producción total de espermatozoides se incrementa con el peso de los testículos. De manera que toros grandes en tamaño o en edad (que es muy probable que posean testículos grandes) generalmente producen mas espermatozoides que los toros más pequeños o de menor edad.

A pesar de que el epidídimo ha sido considerado como una unidad de almacenamiento, podría ser mas apropiado pensar en él como una línea de montaje que posee múltiples funciones para la producción de espermatozoides totalmente maduros y funcionales. Por ejemplo, es durante el viaje a través del epidídimo que el espermatozoide obtiene su forma final, motilidad y capacidad para fertilizar al óvulo.

Los síntomas de infertilidad de un toro pueden ocurrir dos meses y medio a tres luego de que el proceso de formación de espermatozoides ha sido afectado.

Los espermatozoides permanecen fértiles en el epidídimo por períodos largos (semanas) comparado con la duración de su vida fértil cuando están en el tracto reproductivo femenino (horas). Los espermatozoides son eyaculados como resultado de estimulación nerviosa que produce una serie de contracciones musculares que involucran el epidídimo, el vaso deferente y las glándulas accesorias.

LA COMPOSICION DEL SEMEN

El semen es principalmente una combinación del producto de los testículos y de las secreciones de las glándulas accesorias. Entre las glándulas accesorias, las vesículas seminales producen la mayor cantidad de secreción. La secreción total de las glándulas accesorias contribuye en un 80% al volumen total del semen eyaculado. De todas formas, este promedio varía de 60 a 90% en sémen de alta y baja concentración de espermatozoides respectivamente. El semen es muy rico en un azúcar simple llamado fructuosa (6.9 mg/ml), proteína (1.2 mg/ml), aminoácidos, vitaminas (especialmente vitamina C) y minerales (ej., Na, Ca, P). La motilidad del espermatozoide se incrementa en forma dramática inmediatamente después de la eyaculación, probablemente debido a un incremento en la disponibilidad de energía (azúcares) y otros nutrientes.

El volumen de semen varía entre diferentes toros y edades. Un toro joven que recién entra a servicio produce tan solo uno a dos mililitros de semen por eyaculado, mientras que un toro totalmente maduro llega a producir 10 a 15 ml de semen por eyaculado. Cuando un toro sirve por segunda vez y aún por tercera vez consecutiva, el volumen del eyaculado no decrese.

El semen del toro es generalmente blanco-cremoso, aunque algunos toros producen semen normal amarillo debido a la presencia de b-caroteno. El semen varía de espeso viscoso a un fluído claro dependiendo de la concentración de espermatozoides. El número de espermatozoides varía de cero en un toro estéril a mas de tres billones (3’000,000,000) por mililitro de semen.

De todas formas, la concentración promedio es un billón de espermatozoies por ml de semen. La concentración de espermatozoides declina ligeramente luego del primer eyaculado, pero no continúa declinando cuando el toro eyacula hasta siete veces consecutivamente. Una baja frecuencia de eyaculación incrementa el porcentaje de espermatozoides con anormalidades físicas.

En general, la concentración de espermatozoides varía con el desarrollo sexual del toro, el régimen de alimentación, la salud reproductiva y el tamaño de los testículos. Además, existen diferencias reales en la concentración de espermatozoides entre toros.

Eyaculaciones frecuentes no afectan la fertilidad del toro adulto, pero un toro joven debe ser usado mas cuidadosamente.

Figura 1.9: Espermatozoides (el tamaño real de la cabeza del espermatozoide = 0.0001 mm).

RESUMEN

HEMBRA

La producción de leche comienza al nacimiento del ternero y depende del establecimiento de la preñez nueve meses antes del comienzo de la lactancia. Una reproducción exitosa es crítica para que una vaca sea rentable o el hato en sí lo sea ya que:

1) Maximizará la producción de una vaca durante toda su vida;

2) Minimizará los costos de producción de leche;

3) Intensificará el grado de progreso genético en el hato permitiendo el descarte de vacas basado en su produción de leche en lugar de por fallas en la reproducción.

Una novilla correctamente desarrollada debería alcanzar la pubertad a los 10 meses de edad y ser servida a los 15 meses de edad aproximadamente. Los órganos reproductivos de una vaca se componen de complejos y frágiles órganos que producen un óvulo cada 21 días mientras que la vaca no esté preñada. Antes de la ovulación (expulsión de un óvulo del ovario), la vaca muestra signos de celo (estro) y acepta ser montada por un toro. El ciclo estral se encuentra bajo un estricto control hormonal y los cambios que ocurren luego de la ovulación preparan al animal para una posible preñez. Si el semen del toro es depositado (ya sea natural o artificialmente) en el momento oportuno, la vaca es posible que quede preñada, pero si la concepción no se produce, un nuevo ciclo estral tendrá lugar.

MACHO

La producción de espermatozoides por un toro comienza de los seis a nueve meses de edad y se continúa durante la vida adulta, a menos que el proceso de formación de semen se vea dañado (ej., lesiones físicas). De todas maneras, la fertilidad es mas baja en toros jóvenes y la capacidad de servicio de un toro joven es menor que la de un toro adulto. Por lo tanto, toros jóvenes en servicio natural no deben de exigirse demasiado. Un toro adulto, por otra parte, puede llegar a servir hasta 7 u 8 vacas por día sin perder fertilidad.

HORMONAS: REGULADORES CLAVE DE LA REPRODUCCION

El desarrollo de los síntomas de celo, la expulsión del óvulo desde el ovario, el mantenimiento de la preñez, y otros eventos en el ciclo reproductivo de la vaca están regulados estrechamente por las hormonas. Las hormonas son "mensajeros químicos" secretados en un tejido y transportados por la sangre a otro tejido para producir un efecto específico. El tejido que secreta la hormona es llamado glándula endócrina y el órgano que responde al mensajero se llama tejido blanco (Figura 1.10). Debe aclararse que frecuentemente un tejido puede ser ambas cosas, glándula endócrina y tejido blanco (ej., el ovario). Las glándulas endócrinas secretan normalmente hormonas directamente al corriente circulatorio en muy bajas concentraciones, billonésimas o trillonésimas partes de un gramo por mililitro de sangre. Una billonésima de un gramo es 0.000000001 gramos o 1 x 10-9g, y es llamado nanogramo (ng). Una trillonésima de un gramo es 0.000000000001 o 1 x 10-12 g, y es llamado picogramo (pg).

¿COMO TRABAJAN LAS HORMONAS?
El hecho de que una hormona es producida por un tejido no implica necesariamente que producirá su efecto en cualquier otro lugar. El tejido blanco responderá a la hormona únicamente si este posee un receptor (Figura 1.10). Un receptor funciona como cerradura y la hormona funciona como una llave que se ajusta a la cerradura. Por lo tanto, como ejemplo, si un tejido va a responder al estrógeno, sus células deben poseer receptores para estrógeno. Luego de que la hormona se une al receptor, una respuesta celular se inicia en el órgano blanco. Cabe aclarar que un órgano blanco puede poseer receptores para varias hormonas y que la exposición a varias hormonas pueden modificar la respuesta final.

Figura 1.10: Forma esquemática en la que trabajan las hormonas

LOS ORGANOS SECRETORES DE HORMONAS INVOLUCRADOS EN REPRODUCCION

El hipotálamo y la glándula pituitaria en el cerebro, los ovarios, y el útero son las cuatro glándulas endócrinas que

secretan hormonas y que regulan el ciclo estral de 21 días. Cuando una vaca está preñada, la placenta y el embrión también producen hormonas. Las hormonas asociadas con el ciclo estral de 21 días, el lugar de producción, el tejido blanco y la acción están resumidos en la Figura 1.11.

El hipotálamo—GnRH

El hipotálamo se encuentra localizado en la base del cerebro. Contiene terminaciones nerviosas y es sensible a las señales hormonales. El hipotálamo secreta la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) que algunas veces es llamada la hormona liberadora de hormona luteinizante (LHRH). La GnRH es transportada en la sangre de los vasos sanguíneos hacia la glándula pituitaria para regular la secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH). Una inyección de GnRH produce la ovulación de folículos mayores de 10 mm de tamaño y comienza el crecimiento de una nueva onda de folículos inmaduros.

Figura 1.11: Tejidos endócrinos y hormonas relacionadas en el ciclo estral de la vaca Figura 1.12: Principales hormonas y estructuras ováricas que regulan el ciclo estral.

La pituitaria—FSH y LH

La pituitaria se encuentra localizada debajo del hipotálamo. Las hormonas reproductivas de mayor importancia secretadas por el lóbulo anterior de la pituitaria son llamadas gonadotropinas, significa que estimulan los órganos productores de gametos (ovario en la hembra y testículo en el macho). La hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) regulan los eventos que se llevan a cabo en el ovario. La principal función de FSH es la de estimular el crecimiento de los folículos en el ovario. Un crecimiento continuo del folículo depende de la presencia de ambos, FSH y LH. El principal efecto de la LH es el de producir la ovulación.

Folículo ovárico—Estrógeno

El estrógeno es la hormona producida por los folículos a medida que se desarrollan en el ovario. A medida que el folículo dominante se acerca a su tamaño de ovulación, el aumento en la cantidad de estrógeno sanguíneo es detectado por el hipotálamo y produce cambios en la conducta del animal en el momento del celo. La pituitaria responde también al incremento del nivel de estrógenos en la sangre liberando un pico de LH que conduce a la ovulación. Por lo tanto el estrógeno coordina en la vaca la aceptación del toro con la liberación de un óvulo del ovario. La sincronización es necesaria para asegurar que el óvulo pueda ser fertilizado por el espermatozoide. El estrógeno estimula también las contracciones musculares para que el óvulo descienda por el oviducto, y las contracciones musculares de la vagina, cervix y útero para ayudar el ascenso de los espermatozoides hacia el oviducto.

Cuerpo lúteo—Progesterona

Luego de ocurrida la ovulación, el tejido que momentos atrás fue parte del folículo, sufre un cambio dramático para transformarse en el cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo produce progesterona que posee dos efectos pricipales:

1) Prepara el útero para la preñez,

2) Evita el completo desarrollo de un nuevo folículo y por lo tanto evita la aparición de un ciclo estral en caso de que se produzca la preñez.

Si se produce la preñez, el cuerpo lúteo permanece activo durante todo este perído. Cuando la preñez no se produce, el cuerpo lúteo involuciona y cesa la producción de progesterona para permitir la aparición del típico patrón de cambios hormonales cíclicos y de conducta.

Utero—Prostaglandinas
Por lo menos durante 16 a 18 días en el ciclo, el útero de una vaca puede reconocer la presencia o ausencia de un

embrión en crecimiento. En vacas vacías, el útero secreta prostaglandinas. Estas prostaglandinas son transportadas hacia el cuerpo lúteo y producen su involución. Por lo tanto el efecto inhibitorio de la progesterona es removido, un folículo puede desarrollarse y madurar completamente, y el celo ocurre a los pocos días. Durante los primeros cinco días del ciclo estral, una inyección de prostaglandina no es efectiva debido a que un cuerpo lúteo maduro no se encuentra presente. En animales con un cuerpo lúteo maduro (días 6 a 18 del ciclo), el celo se produce de dos a siete días luego de la inyección de prostaglandina. El número de días entre la inyección y el celo depende del tamaño de los folículos en el momento de la inyección.

Figura 1.12: Principales hormonas y estructuras ováricas que regulan el ciclo estral.

REGULACION HORMONAL DEL CICLO ESTRAL

Los estrógenos dominan las etapas de proestro y estro del ciclo estral y la progesterona domina el metaestro y diestro (Figura 1.12). Un resumen de las principales hormonas, su lugar de producción, sus órganos blanco y su acción se presenta en Tabla 1.2.

Durante el proestro, el cuerpo lúteo involuciona como consecuencia de la liberación de prostaglandinas desde el útero no-gestante. Los niveles de progesterona bajan en un par de días desde 5 a 8 nanogramos/ml a menos de 0.5 nanogramos/ml de sangre.

Esto elimina la inhibición ejercida por la progesterona sobre la liberación de gonadotropinas (LH and FSH) en la pituitaria. Como consecuencia la concentración de LH y FSH comienza a aumentar, estimulando la maduración de los folículos en el ovario. A pesar de que varios folículos se desarrollarán, uno solo (dos o tres en el caso de mellizos o trillizos) alcanzará una completa maduración y ovulará. Los demás folículos involucionarán. A medida que el folículo dominante crece, secreta estrógeno. Las células de la periferia (células tecales) se unen a LH y producen andrógeno (hormona masculina). Las células internas (células de la granulosa) convierten luego los andrógenos a estrógenos bajo la estimulacíon de FSH.

La concentración de estrógeno es minúscula, en picogramos por mililitro de sangre (pg/ml), y alcanza un pico de cerca de 7-8 pg/ml el día anterior al comienzo del celo. Este incremento en la concentración de estrógeno produce un pico en la liberación de FSH y LH aproximadamente en el momento del comienzo del celo. La concentración basal de LH es de unos pocos nanogramos (ng), pero alcanza un pico de 60 ng/ml de sangre durante el celo. El pico de FSH y LH trae aparejado los cambios finales en el folículo y el óvulo destinados a ovular.

La ruptura del folículo ovárico, u ovulación, se produce de 24 a 32 horas luego del comienzo del estro. Las células foliculares que permanecen en la superficie del ovario se desarrollan en el cuerpo lúteo durante el metaestro. Con el crecimiento del cuerpo lúteo, el nivel de progesterona en la sangre se incrementa.

El cuerpo lúteo alcanza su tamaño de máximo ocho a 10 días luego de la ovulación. Dependiendo de la señal desde el útero, el cuerpo lúteo se mantendrá si la vaca reconoce que está preñada. El cuerpo lúteo involucionará debido a la acción de las prostaglandinas mandadas por el útero vacío si la vaca no está preñada. La involución del cuerpo lúteo marca el comienzo de un nuevo ciclo.

Tabla 1.2: Hormonas que regulan el ciclo estral de 21 días

Hormona Lugar de producción Tejido blanco Acción GnRH* Hipotálamo Pituitaria AnteriorPermite la liberación de FSH y LH. FSH* Pituitaria Ovario (Folículo)Estimula el desarrollo folicular y producción de estrógenos. LH* Pituitaria Ovario (Folículo)Induce la ovulación, desarrollo del cuerpo lúteo y producción de progesterona. Estrógeno Ovario (Folículo) Cerebro Induce los cambios de conducta asociados con el celo. Pituitaria Anterior Estimula la liberación de FSH y especialmente LH durante el estro. Oviducto, Utero, Cervix, Vagina y Vulva Incrementa la actividad muscular y la producción de un fluido de baja viscosidad para facilitar la migración de espermatozoides y el óvulo hacia su mutuo encuentro. Progesterona Ovario (Cuerpo lúteo) Hipotálamo Previene la completa maduración de los folículos y la ovulación. Utero Reduce la actividad muscular y prepara el útero para producir un medio ambiente favorable para el embrión. Prostaglandinas Utero Ovario (Cuerpo lúteo) Induce la involución del cuerpo lúteo y la disminución de progesterona. * GnRH = Hormona Liberadora de Gonadotropinas; FSH = Hormona Folículo

Estimulante; LH = Hormona Luteinizante

Esta publicación está autorizada por el Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera de la Universidad de Wisconsin Madison.

Estas tecnologías son responsabilidad de quien las aplique.