

FISIOLOGÍA CLÍNICA DE LA REPRODUCCIÓN DE BOVINOS LECHEROS

JOEL HERNÁNDEZ CERÓN



**FISIOLOGÍA CLÍNICA
DE LA REPRODUCCIÓN DE
BOVINOS LECHEROS**



Directorio

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers
Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario General

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa
Secretario de Desarrollo Institucional

Dr. César Iván Astudillo Reyes
Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria

Dra. Mónica González Contró
Abogada General

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Dr. Francisco Suárez Güemes
Director

Dr. José Ángel G. Gutiérrez Pabello
Secretario General

LAE José Luis Espino Hernández
Secretario Administrativo

Dr. Francisco A. Galindo Maldonado
Secretario de Vinculación y Proyectos Especiales

Dr. Gabriel E. García Peña
Jefe del Departamento de Publicaciones

MVZ Enrique Basurto Argueta
Jefe del Departamento de Diseño Gráfico y Editorial



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

FISIOLOGÍA CLÍNICA DE LA REPRODUCCIÓN DE BOVINOS LECHEROS

JOEL HERNÁNDEZ CERÓN



Datos del autor

Médico Veterinario Zootecnista y Doctor en Ciencias Veterinarias (UNAM). Profesor Titular de Tiempo Completo en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Imparte las asignaturas: Reproducción Animal en licenciatura y Reproducción del Bovino en posgrado. Es asesor en la Especialización de Producción Animal (bovinos).

Revisión técnica

Dr. Alejandro Villa Godoy

Médico Veterinario Zootecnista egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (1973). Maestría y Doctorado en la Universidad Estatal de Michigan (1987). Profesor en el Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.

MVZ, MSc. Oscar Ortiz González

Médico Veterinario Zootecnista egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (1979). Maestría en la Universidad de California (1996). Consultor en salud del hato y reproducción en la empresa lechera ALPURA.

Primera edición, 28 de noviembre de 2016

DR© 2016, Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

ISBN: 978-607-02-8690-2

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”.

Impreso y hecho en México. / Printed and made in Mexico.

Corrección de estilo: María Julia Hidalgo López

Diseño de portada: LSCA Edgar Emmanuel Herrera López

Diseño editorial y formación electrónica: DCV F. Avril Braulio Ortiz

Fotografías: Dr. Joel Hernández Cerón

Para Marco Antonio, Adriana Omara y Elvia



"Sírvale jocoque al cura, que él también cuidó las vacas"



PREFACIO

Existen excelentes libros de fisiología y manejo de la reproducción bovina, en los cuales se revisan con detalle y profundidad los procesos que regulan la reproducción y las técnicas reproductivas, pero la mayoría de ellos están escritos en el idioma inglés. En nuestra lengua hay muy pocos libros de reproducción bovina con un enfoque práctico y acorde con las condiciones de los hatos lecheros en sistemas estabulados de producción intensiva. El presente libro fue concebido en este contexto, en esta obra los estudiantes y clínicos de la reproducción encontrarán información útil, abreviada, actualizada y de fácil comprensión, suficiente para su óptimo desempeño profesional. Los capítulos se ordenaron de acuerdo con las diferentes etapas de manejo reproductivo de las vacas lecheras: Ciclo Estral, Estro y Servicio, Gestación, Puerperio, Anestro, Fertilidad, y Reproducción en Vaquillas. En cada capítulo se revisan la fisiología suficiente para la comprensión de los procesos, el manejo de la vaca, y los principales trastornos reproductivos y su tratamiento.

Deseo agradecer a todos mis profesores, alumnos de licenciatura y posgrado que colaboraron conmigo en la escritura y discusión de la presente obra. Agradezco, también, a mis colegas clínicos de la reproducción en ganado lechero, por su generosidad para compartir sus experiencias profesionales. Doy gracias, finalmente, a los revisores técnicos del libro, Dr. Alejandro Villa Godoy y Dr. Oscar Ortiz González.

CONTENIDO

1. CICLO ESTRAL	17
1.1 Eje hipotálamo-hipófisis-ovario	17
1.2 Desarrollo folicular	20
1.3 Desarrollo y control de la función del cuerpo lúteo	24
1.4 Regresión del cuerpo lúteo	27
1.5 Etapas del ciclo estral	28
1.6 Numeralia	32
1.7 Literatura recomendada	32
2. ESTRO Y SERVICIO	33
2.1 ¿Cómo saber si una vaca está en estro?	33
2.2 Relación temporal entre el estro y la ovulación	35
2.3 Eficiencia en la detección de estros	36
2.4 Factores que afectan la eficiencia en la detección de estros. . .	38
2.5 Herramientas que facilitan la detección de las vacas en estro. .	41
2.6 Periodo voluntario de espera	44
2.7 Tasa de preñez	45
2.8 Control del ciclo estral para incrementar la tasa de preñez. . .	47
2.9 Numeralia	56
2.10 Literatura recomendada	57
3. GESTACIÓN	59
3.1 Transporte de los gametos	59

3.2 Fertilización	61
3.3 Desarrollo embrionario	63
3.4 Reconocimiento materno de la gestación	65
3.5 Endocrinología de la gestación	67
3.6 Placentación	67
3.7 Diagnóstico de gestación	68
3.8 Manejo de la vaca seca	72
3.9 El periodo de transición	74
3.10 Numeralia	75
3.11 Literatura recomendada	76
4. PUERPERIO	79
4.1 Involución uterina	79
4.2 Anormalidades del puerperio	81
4.3 Infecciones uterinas	85
4.4 Diagnóstico	86
4.5 Impacto de las infecciones uterinas en la reproducción y producción	87
4.6 Tratamientos	88
4.7 Piometra	91
4.8 Vaginitis en hembras gestantes	92
4.9 Numeralia	92
4.10 Literatura recomendada	93
5. ANESTRO	95
5.1 Control neuroendocrino	95
5.2 Factores que determinan el inicio de la actividad ovárica posparto	95
5.3 El cuerpo lúteo de los primeros ciclos posparto	98
5.4 Anestro patológico	99
5.5 Anestro en relación con el momento del servicio	102

5.7 Manejo de la vaca anéstrica	102
5.8 Tratamientos hormonales para la inducción de actividad ovárica	107
5.9 La gonadotropina coriónica equina (eCG)	108
5.10 Numeralia	109
5.11 Literatura recomendada	110
6. FERTILIDAD	111
6.1 Estimación de la fertilidad en el hato lechero	111
6.2 Factores asociados con la fertilidad	114
6.3 Tratamientos hormonales para mejorar el porcentaje de concepción	138
6.4 Muerte fetal	143
6.5 Numeralia	149
6.6 Literatura recomendada	151
7. REPRODUCCIÓN EN LAS VAQUILLAS LECHERAS	155
7.1 Pubertad	156
7.2 Detección del estro e inseminación	158
7.3 Tasa de preñez	159
7.4 Inseminación de vaquillas con semen sexado	160
7.5 Monta directa	160
7.6 Programas de sincronización de estros	161
7.7 Manejo del anestro	166
7.8 Manejo de la vaquilla infértil	166
7.9 Numeralia	167
7.10 Literatura recomendada	167
ÍNDICE ANALÍTICO	169



UNO.

CICLO ESTRAL

La hembra bovina presenta ciclos estrales en intervalos de 19 a 23 días, y estos sólo se interrumpen durante la gestación o debido a alguna patología. El estro es el periodo de aceptación de la cópula y tiene una duración de 8 a 18 horas. Durante el metaestro ocurre la ovulación y se desarrolla el cuerpo lúteo. El diestro es la etapa más larga del ciclo y se caracteriza por la presencia de un cuerpo lúteo. Si la gestación no se establece, el endometrio secreta prostaglandina $F2\alpha$ ($PGF2\alpha$) lo que induce a la luteólisis, reiniciándose así un nuevo ciclo estral.

1.1 Eje hipotálamo-hipófisis-ovario

Las hormonas son sustancias producidas por diferentes células del organismo que ejercen funciones específicas en otras células (células blanco). Algunas hormonas actúan en la misma célula que la secreta (actividad autocrina), otras lo hacen en las células vecinas (actividad paracrina) y otras son transportadas por la sangre y ejercen su función en células de otros órganos (actividad endocrina). Existen otro tipo de hormonas que comunican a diferentes individuos y son conocidas como feromonas. Las feromonas regulan diferentes funciones, entre las que se destacan las reproductivas.

El hipotálamo se encuentra en la base del cerebro, está formado por núcleos pares de neuronas y se comunica con la hipófisis mediante un sistema circulatorio especializado conocido como sistema porta-hipotálamo-hipofisiario. Las neuronas del área ventromedial y del área preóptica del hipotálamo secretan la hormona liberadora de las gonadotropinas (GnRH), la cual a su vez llega a la hipófisis a través del sistema porta-hipotálamo-hipofisiario y estimula la secreción de la hormona luteinizante (LH) y de la hormona folículo estimulante (FSH). La LH mantiene un patrón de secreción paralelo a la secreción de la GnRH; es decir, un episodio de GnRH corresponde con un episodio de LH, en contraste la FSH tiene una producción

basal alta inhibida por el estradiol y la inhibina, por tal motivo su secreción no muestra un patrón pulsátil similar a la LH.

La GnRH tiene dos formas de secreción: la primera es pulsátil o tónica, regulada por estímulos externos (fotoperiodo, bioestimulación, amamantamiento) y por estímulos internos (metabolitos, hormonas metabólicas, hormonas sexuales). La segunda forma es la preovulatoria o cíclica y es estimulada por los estrógenos durante el estro.

La secreción de algunas hormonas, así como también diversos procesos fisiológicos, se sincronizan con la duración del día y de la noche (ritmos endógenos). La luz se percibe por los fotorreceptores de la retina y la señal luminosa llega a la glándula pineal a través de conexiones neuronales (tracto retino-hipotalámico). En la glándula pineal, el estímulo producido por la luz inhibe la síntesis de la melatonina. De esta forma, la duración del día y la noche (fotoperiodo) es registrada por las variaciones en las concentraciones de la melatonina. En la vaca se sabe que el fotoperiodo influye sobre algunos procesos reproductivos, aunque, no es en sentido estricto una especie con un patrón reproductivo estacional.

Las feromonas sexuales son excretadas a través de orina, heces y fluidos corporales; se perciben por el epitelio olfatorio y el órgano vomeronasal. Posteriormente, vía nerviosa, estimulan en el hipotálamo la frecuencia de los pulsos de secreción de la GnRH. La exposición a feromonas de hembra provoca en el macho un aumento en la frecuencia de secreción de LH y esto a su vez incrementa las concentraciones de testosterona. Las feromonas de macho inducen en la hembra un aumento en la frecuencia de secreción de la LH estimulando el crecimiento folicular y la secreción de estradiol. A la estimulación sexual provocada por el macho o la hembra, se le denomina bioestimulación.

Los cambios en la condición corporal están correlacionados positivamente con las concentraciones séricas de insulina, factor de crecimiento similar a la insulina tipo I (IGF-I) y leptina. Así, a mayor calificación de la condición corporal es mayor la concentración sérica de dichas hormonas, las cuales actúan como señales que llegan al hipotálamo y modifican la frecuencia de secreción de la GnRH. Por ejemplo, la transición del anestro a la ciclicidad coincide con un incremento en la condición corporal y en las concentraciones de insulina, IGF-I y leptina (FIGURA I-1).

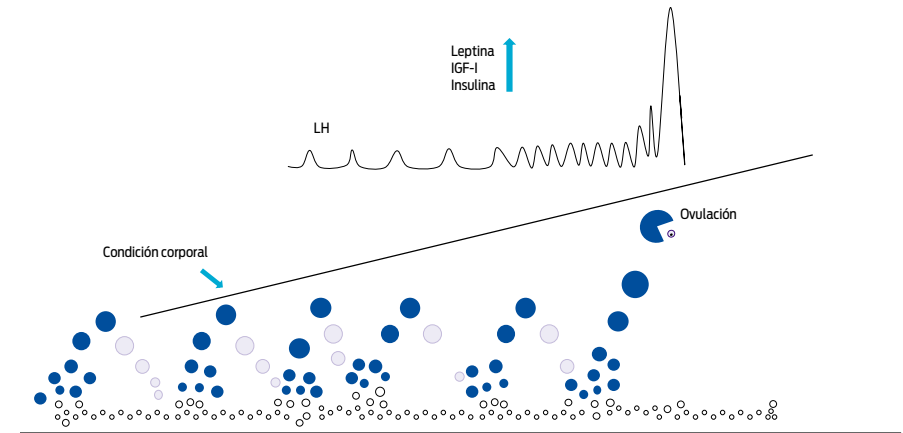


FIGURA I-1. La transición del anestro a la ciclicidad coincide con un incremento en la condición corporal y en las concentraciones de insulina, IGF-I y leptina. Estas hormonas actúan como señales que llegan al hipotálamo y aumentan la frecuencia de secreción de la GnRH.

Los estrógenos pueden ejercer retroalimentación positiva o negativa sobre la secreción de la GnRH, lo cual depende de la etapa del ciclo reproductivo. En animales prepúberes y en anestro postparto, los estrógenos inhiben la secreción de GnRH, pero durante el proestro y el estro estimulan la secreción de GnRH.

La progesterona disminuye la secreción de la GnRH, así como la respuesta de la hipófisis a la GnRH; de esta forma, inhibe la maduración folicular y la ovulación. Por esta razón, la progesterona se ha utilizado con éxito como anticonceptivo en humanos y para el control artificial de la reproducción en los animales domésticos (FIGURA I-2).

Las neuronas secretoras de GnRH no tienen receptores para estrógenos ni progesterona, por lo que estas hormonas no tienen manera de regular directamente la secreción de GnRH. Existe un grupo de neuronas hipotalámicas en las que se expresa el gen Kiss-1 que codifica el péptido Kisspeptina. Las neuronas secretoras de GnRH tienen receptores para este péptido, de modo que la Kisspeptina provee la información a las neuronas secretoras de GnRH respecto de las concentraciones de las hormonas sexuales. La Kisspeptina es un potente estimulador (secretagogo) de la secreción de GnRH y es muy probable que en los próximos años llegue a formar parte de los recursos hormonales para el control artificial de la reproducción, no solamente en los bovinos sino en todas las especies domésticas.

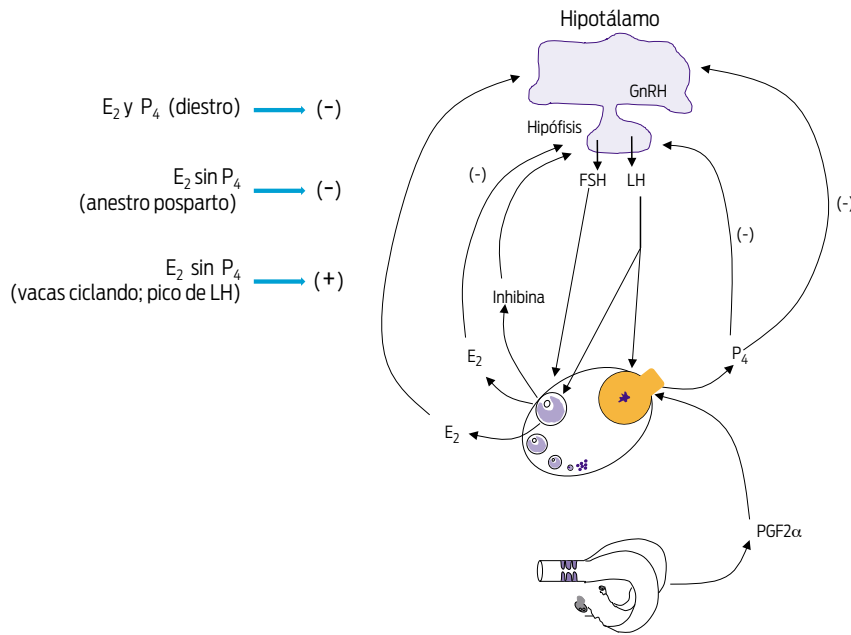


FIGURA 1-2. Retroalimentación entre el hipotálamo, hipófisis y el ovario. La GnRH estimula en la hipófisis la síntesis y secreción de LH y FSH. En la etapa prepuberal y en el anestro posparto los estrógenos inhiben la secreción de GnRH mientras que en el proestro y estro, la estimulan. La progesterona inhibe la secreción de la GnRH y disminuye la respuesta de la hipófisis a la GnRH. Los estrógenos y la inhibina suprimen la secreción de FSH directamente en la hipófisis.

1.2 Desarrollo folicular

El ovario es responsable de la producción de ovocitos y de la síntesis de hormonas sexuales, estrógenos y progesterona, las cuales promueven y regulan la fertilización del ovocito y el mantenimiento de la gestación. El ovocito se encuentra dentro del folículo ovárico rodeado por células de la granulosa las cuales participan en forma activa en su crecimiento y maduración. Las experiencias *in vitro* demuestran la dependencia de los ovocitos de las células de la granulosa, así, cuando los ovocitos se inducen a madurar deben estar rodeados por varias capas de células de la granulosa para que este proceso sea exitoso, de lo contrario no adquieren el potencial para desarrollar un embrión. Aunque las células de la teca interna no están en contacto directo con el ovocito, su papel en la maduración

de éste lo ejercen mediante la producción de andrógenos, mismos que son convertidos en estrógenos por las células de la granulosa. Además, las células de la teca favorecen el establecimiento de la red capilar que apoya el desarrollo folicular. Por otra parte, los nuevos conocimientos indican que el ovocito no es un elemento pasivo en el desarrollo folicular, sino que regula la función de las células foliculares; lo que significa que él mismo participa en la creación de un microambiente óptimo para su maduración. Además, es posible que el ovocito tenga un papel en la activación del desarrollo de los folículos primordiales.

La hembra bovina nace con aproximadamente 200 mil folículos, de los cuales muy pocos se activan e inician su crecimiento, y la mayor parte de ellos sufre atresia en diferentes etapas de desarrollo. Al nacimiento, los folículos están en la fase más elemental y se conocen como folículos primordiales. Posteriormente estos folículos se activan y se transforman en folículos primarios y secundarios; hasta este momento los folículos no tienen antro (etapa preantral) y su desarrollo es independiente de las gonadotropinas. Cuando los folículos forman el antro se conocen como folículos terciarios y su desarrollo es dependiente de las gonadotropinas (etapa antral).

El crecimiento folicular en la etapa antral ocurre en forma de oleadas y cada oleada comienza con un aumento en los niveles de FSH, lo cual promueve el crecimiento de un grupo de cinco a seis folículos (~4 mm de diámetro); este proceso es conocido como reclutamiento. Posteriormente, un solo folículo continúa creciendo (folículo dominante), lo que provoca un aumento en las concentraciones de estrógenos e inhibina y una disminución en las concentraciones de FSH y atresia de los folículos subordinados, pues ellos dependen totalmente de esta hormona, mientras que el folículo dominante continúa su desarrollo estimulado por la LH. El folículo dominante perdura de cuatro a seis días y si no llega a ovular, sufre atresia. Después de la atresia del folículo dominante bajan los niveles de estrógenos e inhibina, se observa un incremento de las concentraciones de FSH y se inicia una nueva oleada folicular.

El folículo dominante que está presente cuando el cuerpo lúteo sufre regresión, continúa su desarrollo y ovula, en respuesta al pico preovulatorio de LH. Además de promover la liberación del ovocito, la secreción preovulatoria de LH regula la formación del cuerpo lúteo a partir de las células foliculares, proceso conocido como lu-



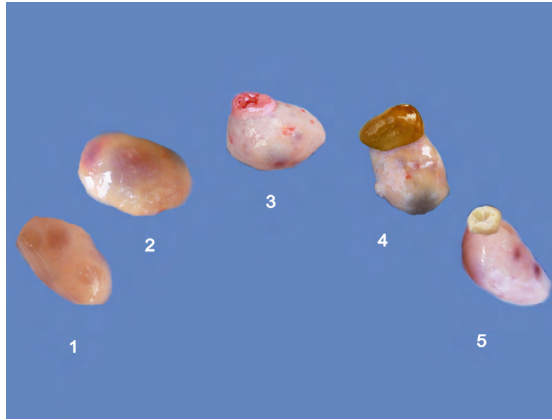


FIGURA I-3. En este ovario se aprecian folículos antrales, los cuales crecen en forma de oleadas (1) y en cada oleada se desarrolla un folículo dominante, el cual puede ovular si ocurre el pico preovulatorio de LH (2). Después de la ovulación el folículo se transforma en un cuerpo hemorrágico (3) y posteriormente esta estructura se convierte en el cuerpo lúteo (4). Si la gestación no se establece, el útero secreta $PGF2\alpha$ provocando la luteólisis. Después de la regresión lútea sólo queda una cicatriz (cuerpo blanco) en la corteza del ovario (5).



FIGURA I-4. Ovarios con folículos de diferente tamaño y un cuerpo lúteo.

teinización. Durante el ciclo estral se presentan de dos a tres oleadas foliculares. Las vacas con tres oleadas foliculares tienen una fase lútea más larga y en consecuencia un ciclo estral más largo, de 22 a 23 días; mientras que las vacas que tienen dos oleadas presentan un ciclo estral de 18 a 21 días. En las vacas lecheras, alrededor del 70 por ciento presenta dos oleadas foliculares, mientras que 30 por ciento muestra tres oleadas (FIGURA I-3 y I-4).

En las vacas con dos oleadas foliculares el periodo de dominancia folicular es mayor que en las de tres oleadas. El tiempo de dominancia influye en el potencial de los ovocitos para desarrollar un embrión viable; así, el porcentaje de concepción es menor cuando ovulan folículos que tuvieron más días de dominancia que cuando ovulan folículos con menor tiempo de dominancia (FIGURA I-5).

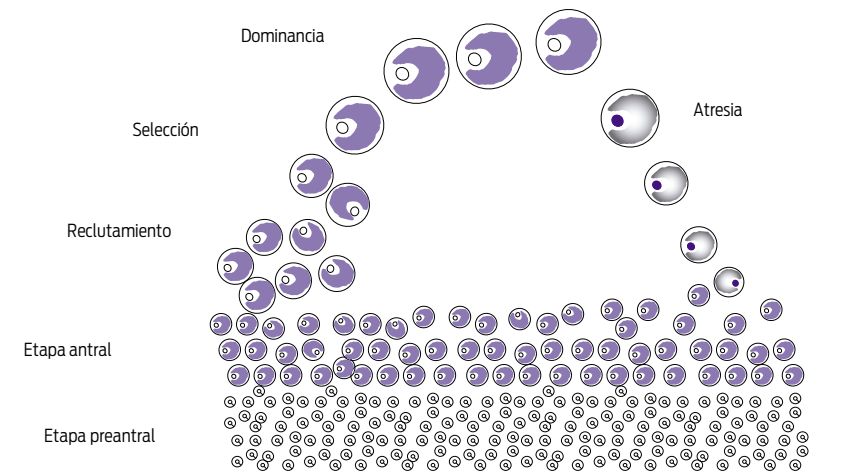


FIGURA I-5. El crecimiento folicular en la etapa antral ocurre en forma de oleadas. Cada oleada comienza con un aumento en las concentraciones de FSH, lo cual promueve el reclutamiento de cinco a seis folículos (~4 mm diámetro). Posteriormente un solo folículo continúa creciendo (folículo dominante), mientras que sus compañeros (subordinados) sufren atresia. El folículo dominante perdura de cuatro a seis días y si no llega a ovular, sufre atresia. Después de la atresia del folículo dominante se observa un incremento en las concentraciones de FSH, iniciándose una nueva oleada folicular.

1.2.1 Ovulación múltiple

En los últimos años se ha observado un incremento en la proporción de vacas con ovulación múltiple (20 por ciento vs 1 por ciento en vaquillas), lo que ha provocado un aumento de la proporción de partos gemelares (8 por ciento vs 1 por ciento en vaquillas). La frecuencia de vacas con ovulación múltiple está asociada con la alta producción de leche; de modo que, las vacas que producen menos de 40 kg muestran 6 por ciento de ovulaciones múltiples y aquellas que producen más de 50 kg alcanzan hasta 50 por ciento. La causa de este fenómeno no es clara, sin embargo, se han observado diferencias en las concentraciones de FSH, de tal forma que las vacas que desarrollan de dos a tres folículos dominantes en una oleada folicular, presentan niveles de FSH más altos que las vacas que tienen sólo un folículo dominante. En vacas en lactación la concentración de progesterona es baja debido al aumento en el metabolismo hepático, lo que incrementa su tasa de eliminación. Se ha observado que las vacas que tuvieron una fase lútea con niveles de progesterona más

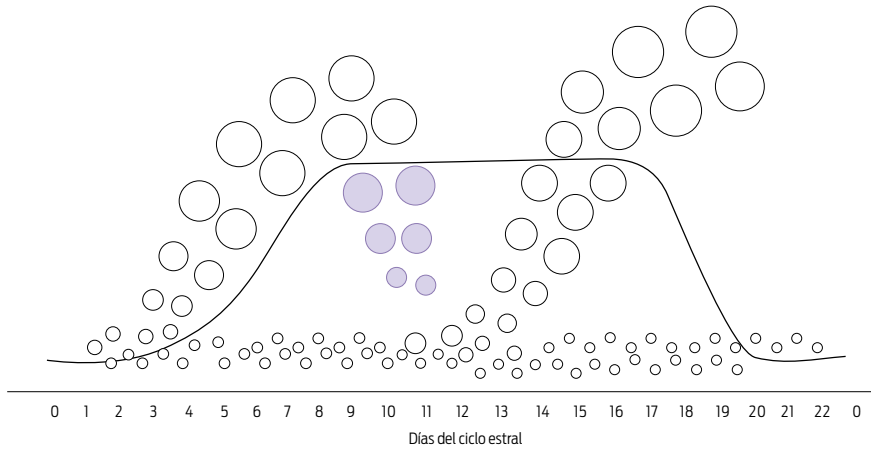


FIGURA I-6. Las bajas concentraciones de progesterona sérica que poseen las vacas en lactación permiten un incremento de la frecuencia de secreción de la GnRH, igualmente el incremento de LH y FSH. Lo anterior favorece la dominancia múltiple y eventualmente la ovulación de más de un folículo. En esta figura se aprecia la dominancia de dos folículos en cada oleada folicular (codominancia).

altos, en el ciclo previo a la inseminación, muestran menos ovulaciones múltiples en comparación con las vacas que tuvieron niveles de progesterona más bajos. Se propone que las bajas concentraciones de progesterona permiten un incremento de la frecuencia de secreción de la GnRH y en consecuencia de LH y FSH, lo que favorece la dominancia múltiple y eventualmente la ovulación de más de un folículo. En los hatos lecheros las gestaciones gemelares no son deseables porque aumenta el riesgo de pérdida de la gestación y, si ésta llega a término, el riesgo de distocia es considerablemente más alto (FIGURAS I-6, I-7, I-8, I-9).

1.3 Desarrollo y control de la función del cuerpo lúteo

Cuando el folículo dominante completa su maduración produce niveles de estrógenos suficientes para provocar la liberación máxima de la GnRH, lo que desencadena el pico preovulatorio de la LH. Esta secreción de LH provoca la ovulación e inicia los cambios para que el folículo se transforme en un cuerpo lúteo, proceso conocido como luteinización.



FIGURA I-7. Ovarios de una vaca lechera en diestro con tres folículos dominantes.



FIGURA I-8. Se muestran los ovarios de una vaca lechera con tres cuerpos lúteos.



FIGURA I-9. Se muestran los ovarios de una vaca lechera con dos cuerpos hemorrágicos.





FIGURA I-10. Cuerpo lúteo del día 8 del ciclo estral.

La luteinización comprende todos los cambios morfológicos, endócrinos y enzimáticos que ocurren en el folículo ovulatorio hasta que éste se transforma en un cuerpo lúteo. El proceso de luteinización comienza desde la elevación preovulatoria de LH; aún, antes de la ovulación. La luteinización del folículo dominante (≥ 8 mm diámetro) puede ser inducida hormonalmente mediante la inyección de GnRH o gonadotropina coriónica humana (hCG).

La ovulación ocurre en promedio 30 horas después del pico preovulatorio de LH. La secreción preovulatoria de LH desencadena la liberación de enzimas proteolíticas y de mediadores de la inflamación en la pared folicular, las cuales degradan el tejido conectivo y ocasionan muerte celular. Posteriormente, la $PGF2\alpha$ induce contracciones de la teca externa, lo que conduce a la ruptura folicular y a la expulsión del ovocito.

Después de la ovulación, las células de la teca interna y de la granulosa migran y se distribuyen en las paredes del folículo. Las células de la teca interna se diferencian y multiplican en células lúteas chicas, mientras que las células de la granulosa se hipertrofian y dan origen a las células lúteas grandes. Estos cambios se facilitan por la ruptura de la membrana basal que separa la capa de células de la granulosa de la teca interna. En forma paralela comienza la formación de una amplia red de capilares que se distribuyen en todo el cuerpo lúteo en formación, y llegan a constituir hasta 20 por ciento del volumen de esta estructura (FIGURAS I-10, I-11).



FIGURA I-11. Corte sagital de cuerpo lúteo del día 10 del ciclo estral. Esta glándula puede representar más de la mitad de la masa ovárica.

La progesterona es el principal producto de secreción del cuerpo lúteo. En el quinto día del ciclo estral las concentraciones séricas de esta hormona son mayores de 1 ng/mL, lo que indica que el cuerpo lúteo ha adquirido su plena funcionalidad. La progesterona actúa básicamente sobre los órganos genitales de la hembra, siendo responsable de la preparación del útero para el establecimiento y mantenimiento de la gestación. En la mucosa del oviducto y del útero, estimula la secreción de sustancias que promueven el desarrollo del embrión, hasta que éste comienza a nutrirse a través de la placenta.

La progesterona suprime la respuesta inmune del útero, lo cual es necesario para tolerar al embrión, ya que éste es un tejido extraño para la vaca. Además, la progesterona evita las contracciones del útero, cierra el cérvix y modifica las características del moco cervical, volviéndolo más viscoso, lo que evita el paso de agentes extraños al interior del útero. En la glándula mamaria estimula el desarrollo del sistema alveolar, preparándola para la síntesis y la secreción de leche.

1.4 Regresión del cuerpo lúteo

La regresión lútea es un proceso activo ocasionado por la secreción uterina de la $PGF2\alpha$. El mecanismo por el cual se inicia la síntesis y secreción de la $PGF2\alpha$ depende de una interacción entre el cuerpo lúteo, los folículos y el útero. Los estrógenos producidos en el folículo dominante desempeñan un papel importante en el inicio de

la secreción de $\text{PGF2}\alpha$, ya que promueven la síntesis de receptores para oxitocina. Además, los estrógenos estimulan en el endometrio la producción de la fosfolipasa A y de la ciclooxigenasa; enzimas indispensables para la síntesis de la $\text{PGF2}\alpha$.

Durante el ciclo estral, la progesterona inhibe la síntesis de la $\text{PGF2}\alpha$ mediante la supresión de la formación de receptores para estradiol. Después de un periodo de 12 a 14 días de exposición a progesterona, las células endometriales se vuelven insensibles a la progesterona. Cuando esto ocurre, las células endometriales sintetizan receptores para estradiol, lo que permite que el estradiol producido en el folículo dominante estimule la síntesis de receptores para oxitocina. En este momento, el endometrio está listo para sintetizar y secretar $\text{PGF2}\alpha$, en respuesta al estímulo de la oxitocina. El primer episodio de secreción de oxitocina es de origen hipotalámico, lo que desencadena el primer pulso de $\text{PGF2}\alpha$. Los episodios siguientes de $\text{PGF2}\alpha$ son inducidos por la oxitocina producida en el cuerpo lúteo. La $\text{PGF2}\alpha$ se secreta en episodios (pulsos) con intervalos de seis a ocho horas, requiriéndose de cinco a seis episodios para que ocurra la luteólisis. Si la $\text{PGF2}\alpha$ no sigue este patrón de secreción, fracasará la regresión del cuerpo lúteo. Además de la $\text{PGF2}\alpha$ de origen uterino, el cuerpo lúteo también produce $\text{PGF2}\alpha$, la cual aumenta el efecto luteolítico. La falta de sensibilidad a la $\text{PGF2}\alpha$ que se observa en los cuerpos lúteos inmaduros (primeros cinco días después de la ovulación) obedece a que en este periodo el cuerpo lúteo todavía no produce $\text{PGF2}\alpha$ (FIGURA I-12, I-13, I-14).

1.5 Etapas del ciclo estral

El ciclo estral se divide en cuatro etapas bien definidas.

1.5.1 Estro

En esta etapa la hembra acepta la cópula o la monta de otra vaca. El estro es provocado por el incremento significativo de las concentraciones de estradiol producido por el folículo preovulatorio y por la ausencia de un cuerpo lúteo. La duración de esta etapa es de 8 a 18 horas.

1.5.2 Metaestro

El metaestro es la etapa posterior al estro, tiene una duración de cuatro a cinco días. Durante esta etapa ocurre la ovulación y se desarro-

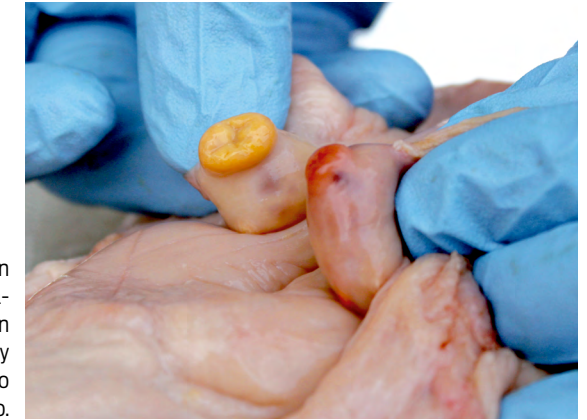


FIGURA I-12. Ovarios de una vaca en metaestro (día tres del ciclo). El ovario izquierdo tiene un cuerpo lúteo en regresión (color amarillo pálido) y en el derecho se observa un cuerpo hemorrágico.



FIGURA I-13. Ovario con un cuerpo hemorrágico. Día 4 del ciclo estral.



FIGURA I-14. Entre los días 17 a 18 del ciclo, el endometrio secreta $\text{PGF2}\alpha$, la cual llega por vía local al ovario y destruye al cuerpo lúteo, iniciándose con ello un nuevo ciclo estral.



FIGURA I-15. Sangrado metaestral. Este signo lo muestran alrededor de 50 por ciento de las vacas.

lla el cuerpo lúteo. Después de la ovulación se observa una depresión en el lugar ocupado por el folículo ovulatorio (depresión ovulatoria) y posteriormente se desarrolla el cuerpo hemorrágico (cuerpo lúteo en proceso de formación). Durante el metaestro, las concentraciones de progesterona comienzan a incrementarse hasta alcanzar niveles mayores de 1 ng/mL, momento a partir del cual se considera que el cuerpo lúteo llegó a la madurez. El momento en que las concentraciones de progesterona son superiores a 1 ng/mL se toma como criterio fisiológico para determinar el final del metaestro y el inicio del diestro. Un evento hormonal que se destaca en este periodo consiste en la presentación del pico posovulatorio de FSH, lo cual desencadena la primera oleada de desarrollo folicular. Algunas vacas presentan un sangrado conocido como sangrado metaestral (FIGURA I-15).

1.5.3 Diestro

El diestro es la etapa de mayor duración del ciclo estral, de 12 a 14 días. Durante esta etapa el cuerpo lúteo mantiene su plena funcionalidad, lo que se refleja en concentraciones sanguíneas de progesterona, mayores de 1 ng/mL. Además, en esta etapa se pueden encontrar folículos de diferente tamaño debido a las oleadas foliculares. Después de 12-14 días de exposición a la progesterona, el endometrio comienza a secretar $\text{PGF2}\alpha$ en un patrón pulsátil, el cual termina con la vida

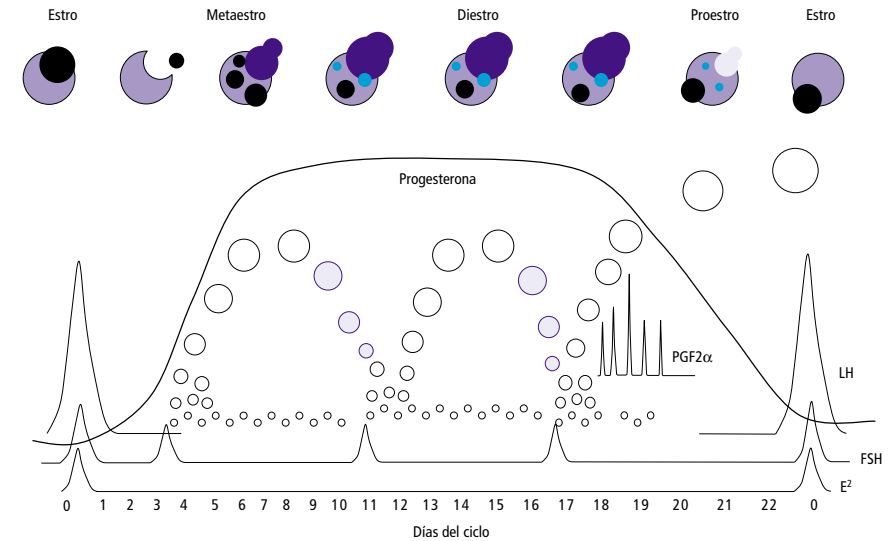


FIGURA I-16. Etapas del ciclo estral.

del cuerpo lúteo y con el diestro. En términos endocrinos cuando el cuerpo lúteo pierde su funcionalidad, es decir, cuando las concentraciones de progesterona disminuyen por debajo de 1 ng/mL, termina el diestro y comienza el proestro. Cabe mencionar que durante esta etapa, la LH se secreta con una frecuencia muy baja y la FSH tiene incrementos responsables de las oleadas foliculares.

1.5.4 Proestro

El proestro se caracteriza por la ausencia de un cuerpo lúteo funcional y por el desarrollo y maduración del folículo ovulatorio. El proestro en la vaca dura de dos a tres días. Un evento hormonal característico de esta etapa es el incremento de la frecuencia de los pulsos de secreción de LH que conducen a la maduración final del folículo ovulatorio y al incremento de estradiol sérico, lo que desencadena el estro.

Además de la clasificación del ciclo estral descrita anteriormente, existe otra que divide al ciclo en dos fases: la progestacional (lútea) y la estrogénica (folicular). La fase progestacional comprende el metaestro y el diestro, y la fase estrogénica al proestro y estro (FIGURA I-16).

Dos.

ESTRO Y SERVICIO

1.6 Numeralia

- El ciclo estral dura de 19 a 23 días.
- La vaca es receptiva durante 8 a 18 horas (estro).
- Al nacimiento una becerro tiene alrededor de 200 mil folículos primordiales.
- Durante el ciclo estral se presentan de dos a tres oleadas foliculares.
- De cinco a seis folículos se reclutan en cada oleada folicular.
- Alrededor de 70 por ciento de las vacas tienen dos oleadas foliculares y 30 por ciento presentan tres oleadas.
- Entre 10 y 20 por ciento de las vacas tienen ovulaciones múltiples (dos a tres folículos) y 8 por ciento tienen partos gemelares.
- La ovulación ocurre 30 horas después del pico preovulatorio de LH.
- La secreción preovulatoria de LH es de 15 a 30 ng/mL.
- Doce a 14 días son necesarios para que el endometrio se vuelva insensible a la progesterona y comience a secretar PGF2 α .
- Se requieren de cinco a seis pulsos de PGF2 α con un intervalo de ocho horas para ocasionar la luteólisis.
- El cuerpo lúteo no es sensible a la PGF2 α en los primeros cinco días del ciclo estral.

1.7 Literatura recomendada

- Galina CS y Valencia MJ, editores. Reproducción de los animales domésticos. 3a ed. México (DF): Limusa, 2008.
- Joel Hernández Cerón y Jesús Zavala Rayas, Editores. Reproducción bovina. División Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. Universidad Nacional Autónoma de México 2007. 1ra ed. México, D.F.
- O'Connor ML. Estrus detection. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. Large Animal Theriogenology 2. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:270-278.
- Senger PL. Pathways to pregnancy and parturition. 2nd ed. Ephrata, PA. Current Conceptions, Inc., 2003.
- Stevenson JS. Clinical reproductive physiology. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. Large Animal Theriogenology 2. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:258-270.

La identificación de las vacas en estro (celo o calor) es sin duda la práctica más importante en el manejo de la reproducción del hato lechero. No obstante, los avances en los conocimientos de la fisiología de la reproducción a nivel celular y molecular, la identificación de las vacas en estro sigue siendo el problema reproductivo más importante y el que más pérdidas económicas provoca. En la industria lechera de México no se ha estimado su impacto, sin embargo, puede dar una idea la estimación que hacen países como Estados Unidos en donde se pierden al año 300 millones de dólares, atribuido sólo a la baja eficiencia en la detección de estros. ¿Por qué cada vez es más difícil detectar a las vacas en estro? La respuesta está relacionada con aspectos intrínsecos de la vaca lechera moderna, asociados con las prácticas de manejo de los hatos actuales, caracterizados por tener grandes poblaciones de vacas.

2.1 ¿Cómo saber si una vaca está en estro?

La conducta estral es provocada por un incremento de estradiol sérico producido por el folículo ovulatorio. El aumento de estradiol provoca cambios de la conducta y modificaciones en los genitales externos e internos. La vaca muestra inquietud, su vocalización aumenta, camina más, trata de montar a otras vacas y acepta la monta del toro o de otra vaca. La vulva se inflama ligeramente, a la palpación rectal se aprecia el útero con tono o turgencia (duro y contraído) y al realizar un masaje del cérvix se observa que sale por la vulva moco cristalino abundante. El mecanismo clásico propuesto en la regulación del estro está basado principalmente en el papel del estradiol; sin embargo, estudios recientes señalan que la GnRH podría estar participando en la regulación del estro a nivel del hipotálamo. El estro tiene una duración de 8 a 18 horas y su intensidad es afectada por factores ambientales e intrínsecos de la vaca moderna (FIGURA II-1, II-2, II-3, II-4, II-5, II-6).



FIGURA II-1. Las vacas en estro forman grupos activos (grupo sexualmente activo) separados del resto de las vacas. La conformación de estos grupos facilita la observación del estro.



FIGURA II-2. La observación del grupo sexualmente activo facilita la identificación de las vacas en estro.



FIGURA II-3. El único comportamiento positivo de estro es la aceptación de la monta de otra vaca. Es frecuente que la vaca que realiza la monta también esté en estro, lo cual sólo será afirmado hasta que ésta acepte la monta.



FIGURA II-4. La monta dura de cinco a siete segundos.



FIGURA II-5. La vaca lechera acepta de 5 a 30 montas distribuidas entre 8 y 18 horas.

2.2 Relación temporal entre el estro y la ovulación

El inicio del estro guarda una relación temporal con el pico preovulatorio de LH. Entre el inicio del estro y el pico de LH transcurren de dos a seis horas, y en algunos casos estos dos eventos ocurren simultáneamente. La ovulación mantiene una relación temporal constante con el pico de LH. En general, la ovulación ocurre de 28 a 30 horas después del pico de LH; o, visto de otra manera, de 30 a 36 horas después del inicio del estro (FIGURA II-4).



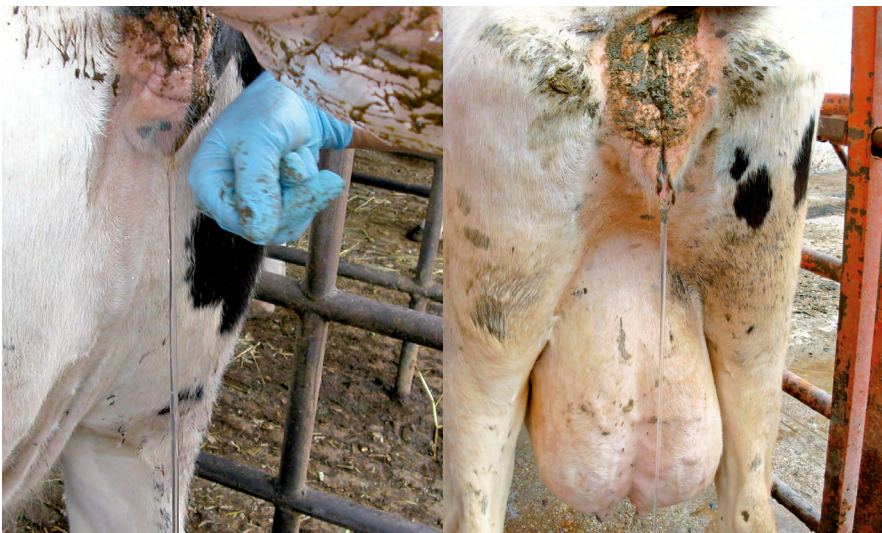


FIGURA II-6. Además de los cambios conductuales, los estrógenos ocasionan cambios en los genitales internos. Uno de ellos es la producción de moco cervical, el cual junto con la turgencia uterina, constituyen los signos genitales del estro.

2.3 Eficiencia en la detección de estros

La eficiencia en la detección de estros (EDE) se define como la proporción de vacas observadas en estro del total elegible (esperado), para mostrar estro en un periodo equivalente a la duración de un ciclo estral. Este dato se calcula a partir de las vacas que reúnen las siguientes características: vacas no inseminadas, sin enfermedades reproductivas, de más de 60 días posparto, y no gestantes. Después de hacer un listado de las vacas que reúnen las condiciones anteriores (vacas elegibles), se espera un periodo de 22 días (duración promedio de un ciclo estral) y se revisan las tarjetas reproductivas para saber cuántas fueron observadas en estro. Es común que la mitad de las vacas elegibles sean detectadas en estro (50 por ciento de eficiencia). Una meta factible con observación continua es de 80 por ciento.

Una forma indirecta de conocer la eficiencia en la detección de estros consiste en conocer el porcentaje de vacas vacías que llegan al diagnóstico de gestación. En términos generales, las vacas no gestantes deben mostrar estro entre 21 y 24 días después del servicio.

Cuando esto no ocurre, las vacas se palpan entre los días 40 y 45 posinseminación para el diagnóstico de gestación. Es frecuente que algunas vacas están vacías, lo que indica en la mayoría de los casos, que no fueron detectadas en su retorno al estro. Se espera que menos de 20 por ciento de las vacas resulten vacías cuando se hace el diagnóstico de gestación; un porcentaje mayor indica una baja eficiencia en la detección de estros.

2.3.1 Intervalos entre servicios

Otra manera de estimar la eficiencia en la detección de estros en los hatos lecheros es mediante la evaluación de los intervalos entre servicios. Es deseable que todas las vacas no gestantes regresen en estro con un intervalo normal (21 a 24 días). Se acepta que 65-70 por ciento de las vacas muestren estro con un intervalo normal; <10% intervalo corto (≤ 17 días); <10% intervalo largo (25 a 35 días); <20% intervalo doble (36 a 48 días), y 0 por ciento con un intervalo de más de 48 días. Los intervalos entre servicios observados en los hatos comerciales están muy lejos de las metas señaladas, lo que indica graves problemas de la eficiencia en la detección de estros (CUADRO II-1).

Cuadro II-1. Intervalos entre servicios en hatos lecheros en estabulación.

Intervalos	Duración (días)	Número de vacas	Porcentaje	Meta (%)
Normales	18 a 24	1685	33	65-70
Cortos	≤ 17	300	6	<10
Largos	25 a 35	797	16	<10
Dobles	36 a 48	977	19	<20
Más de 48 días	36 a 48	1278	25	0
Total		5037	100	

Tixi *et al.*, 2009.

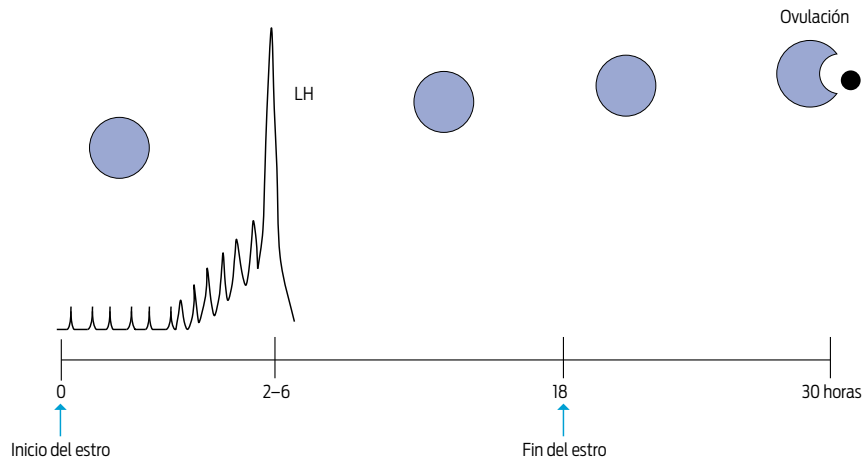


FIGURA II-7. Relación temporal entre el estro, el pico preovulatorio de LH y la ovulación. El pico preovulatorio ocurre de dos a seis horas después del inicio del estro y la ovulación sucede 30 horas en promedio después del inicio del estro.

2.4 Factores que afectan la eficiencia en la detección de estros

2.4.1 Concentraciones séricas de estradiol

La eficiencia en la detección de calores ha disminuido en los últimos años debido a la reducción de la intensidad del estro atribuida, entre otras causas, a una alta tasa de eliminación hepática de los estrógenos. En las vacas en lactación el flujo hepático es mayor debido a su elevado consumo de materia seca, lo que incrementa la tasa de catabolismo de las hormonas esteroides.

2.4.2 Somatotropina bovina recombinante (bST)

En las vacas tratadas periódicamente con la bST, la eficiencia en la detección de estros es menor que en las vacas no tratadas. La influencia de la bST en la manifestación del estro es independiente al incremento de la producción de leche. Probablemente la bST disminuye la intensidad del estro mediante una reducción de la sensibilidad del cerebro a los estrógenos.

FIGURA II-8. Los pisos de cemento disminuyen la intensidad del estro, por lo que en los hatos con estas instalaciones se debe ser más estricto con el tiempo dedicado a la observación de calores.



2.4.3 Producción de leche

Existe una asociación negativa entre la producción de leche y la eficiencia en la detección de calores. Así, a mayor producción de leche se detectan menos vacas en estro. Posiblemente la baja eficiencia en la detección de calores en las vacas altas productoras, se debe a que éstas tienen estros menos intensos y de menor duración que las vacas con menores niveles de producción de leche. Quizá la alta producción de leche disminuye la expresión del estro debido a que estas vacas tienen una tasa metabólica más alta y menores concentraciones de estrógenos séricos.

2.4.4 Tiempo y hora de observación

No obstante que la eficiencia en la detección de estros es el problema reproductivo más importante, el tiempo que se dedica a esta actividad es insuficiente. Con frecuencia los trabajadores dedicados a esta tarea son responsables de otras actividades que nada tienen que ver con la reproducción.

La actividad estral es más intensa durante el amanecer y el atardecer, y cuando las vacas se mueven en grupos hacia las áreas de ordeño o descanso. Las mejores horas para observar estros son de las seis a las nueve horas y de las 17 a las 20 horas; con estos periodos de observación se puede alcanzar una eficiencia en la detección de estros de 80 por ciento.



FIGURA II-9. Vaca con podómetro. El aumento de la actividad locomotora es un indicador de la conducta estral.

2.4.5 Instalaciones

Las instalaciones influyen en forma importante en la expresión del estro. En alojamientos con piso de cemento la expresión del estro se reduce mientras que en los corrales con piso de tierra los estros son más largos y más intensos, lo que aumenta la probabilidad de detección (FIGURA II-8).

2.4.6 Problemas del aparato locomotor

En los hatos lecheros es frecuente que alrededor de 40 por ciento de las vacas tenga problemas del aparato locomotor (laminitis y pododermatitis). Estas patologías provocan que las vacas estén más tiempo echadas, lo que reduce el consumo de materia seca y hace más profundo el balance negativo de energía, afectando diversos procesos reproductivos. Además, los problemas de patas reducen la intensidad del estro, lo que disminuye la eficiencia en su detección.

2.4.7 Estrés calórico

La intensidad del estro disminuye cuando las vacas están bajo estrés calórico. Se ha observado reducción del número de montas recibidas durante la época cálida en comparación con la época templada o fría. La reducción del comportamiento estral se debe a una disminución de la actividad física provocada por la temperatura alta y, posiblemente, a la disminución de las concentraciones séricas de estradiol observada en las vacas bajo estrés calórico.

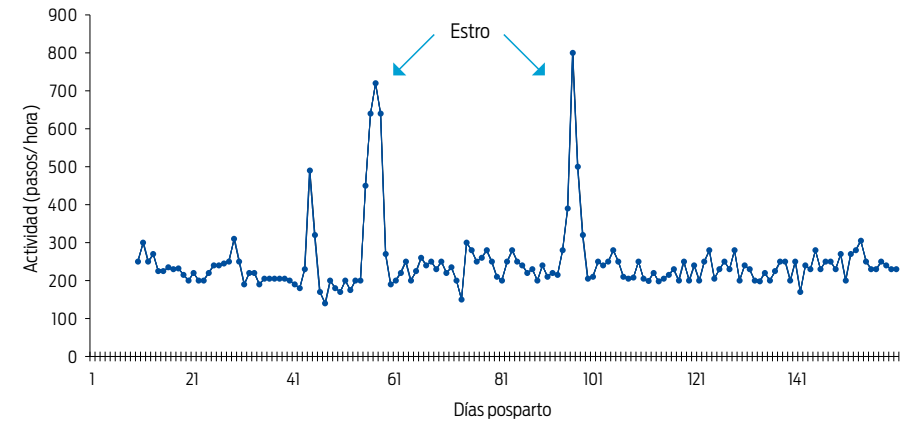


FIGURA II-10. El podómetro registra el número de pasos que da la vaca por hora. En esta figura se aprecian los días en los cuales aumentó la actividad locomotora, lo que está asociado con la presentación del estro.

2.4.8 Factores humanos

Aunque este factor poco tiene que ver con la fisiología reproductiva, es sin duda el factor que más influye en la eficiencia reproductiva. La mayor parte de los trabajadores de los hatos lecheros carecen de seguridad social (Seguro Social) y reciben salarios bajos, ésta carencia es una atractiva oportunidad para incrementar la eficiencia reproductiva; si los trabajadores recibieran mejores salarios, seguridad social y estímulos económicos, el problema de fertilidad sería menor y la rentabilidad de los hatos lecheros se incrementaría significativamente.

2.5 Herramientas que facilitan la detección de las vacas en estro

Hoy en día se cuenta con diversas herramientas que ayudan a la detección de las vacas en estro, de las cuales las más importantes son las que se describen a continuación.

2.5.1 Podómetros

El fundamento de esta herramienta radica en que la vaca, durante la etapa de estro, camina más que en las otras etapas del ciclo estral.



FIGURA II-11. Parche con cápsula de pintura (K-mar). En la fotografía se observa una vaca que recibió monta.



FIGURA II-12. Parche detector de montas que al frotarse muestran un color fluorescente. En este caso se muestra una vaca positiva a la monta.

El podómetro (FIGURA II-9) colocado en una pata de la vaca, registra la actividad locomotora diaria. Cuando la vaca camina más, aparece en una lista para que el inseminador la examine por vía rectal, determine si hay signos genitales de estro y proceda a inseminarla (FIGURA II-10).

2.5.2 Parches con cápsula de colorante (K-mar)

Estos dispositivos (FIGURA II-11) se colocan en la grupa, son de color blanco y contienen una cápsula de colorante, la cual se rompe cuando la vaca recibe la monta. Así, en la vaca positiva el parche toma un color rojo mientras que en la negativa se mantiene blanco. También hay en el mercado otros detectores de monta que consisten en parches que al ser frotados muestran un color fluorescente (FIGURA II-12).



FIGURA II-13. Vaca con detector electrónico de montas (Heat watch) colocado en la grupa.

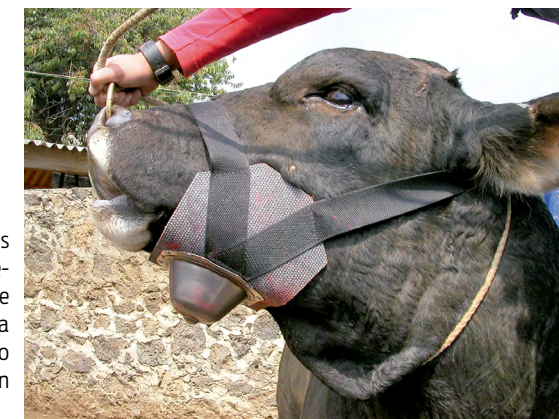


FIGURA II-14. Toro con Chin ball. Los toros con este dispositivo deben tener el pene desviado para evitar que copulen. Aunque este sistema ayuda a la detección de estros, el manejo del toro en el corral representa un riesgo para los trabajadores.



FIGURA II-15. La marca con crayón en la grupa es la ayuda más sencilla y económica para la detección de las vacas en estro.

2.5.3 Detectores electrónicos de la monta (*Heat watch*)

Estos dispositivos (FIGURA II-13) se colocan en la grupa. Contienen un sensor electrónico que se activa cuando la vaca recibe la monta y emite una señal que es recibida por una antena colocada en el corral (telemetría). La señal se registra en una computadora y las vacas positivas aparecen en un informe para el técnico inseminador.

2.5.4 *Chin ball*

Este método consiste en la colocación de un aditamento en la región de la mandíbula del toro, llamado *Chin ball*, que contiene tinta (como un bolígrafo, FIGURA II-14); al toro previamente se le ha desviado el pene quirúrgicamente. Cuando el toro monta a una vaca, le pinta el lomo.

2.5.5 *Crayón*

La utilización del crayón (“crayoneo”, FIGURA II-15) es la técnica más común en los hatos lecheros y consiste en pintar la grupa con crayón (región del sacro). En las vacas que reciben montas, la pintura se borra. Todos los días el técnico revisa qué vacas ya no tienen pintura, para examinarlas por vía rectal, y aquellas con signos genitales de estro son inseminadas.

2.6 Periodo voluntario de espera

El periodo voluntario de espera es el tiempo que transcurre del parto hasta que se decide realizar el primer servicio. La duración de este periodo depende del criterio del ganadero y del veterinario. Hace treinta años el servicio en las vacas se practicaba a partir del día 40 posparto; sin embargo, actualmente se prefiere entre los días 50 a 60. El cambio obedece a que hoy en día las vacas producen más leche y no es raro observar que cuando se inicia el secado haya vacas que estén produciendo más de 30 kg, lo cual es lamentable, ya que se pierde una cantidad considerable de leche.

Por otra parte, comenzar a servir a las vacas antes del día 50 posparto da como resultado bajos porcentajes de concepción, esto es debido a un ambiente uterino inadecuado, anomalías de los ovocitos y alta incidencia de muerte embrionaria temprana. En contraste, cuando el primer servicio se practica posterior al día 50, aumenta la probabilidad de que la vaca quede gestante, ya que ésta se

va alejando de los efectos negativos del estado metabólico posparto y de los problemas del puerperio.

En un hato lechero las vacas en el día 50 posparto tienen diferente producción de leche y condición corporal; además, son vacas de distinto número de partos y con diversos antecedentes del puerperio. Por tanto, cada vaca debería tener diferente periodo voluntario de espera; sin embargo el manejo de los hatos modernos –hatos con más de 500 vacas– obliga a programar grupos de vacas para la inseminación, lo cual limita el manejo individual. No obstante la baja fertilidad que tendrían algunas vacas que se inseminen con pocos días posparto, es necesario comenzar a inseminar lo más rápido posible con el propósito de lograr un alto porcentaje de vacas gestantes en el día 100 posparto.

2.7 Tasa de preñez

Existen diferentes parámetros para evaluar la fertilidad en el hato lechero y cada parámetro permite identificar problemas específicos. Así, el porcentaje de concepción se refiere a la proporción de vacas gestantes del total inseminado, mientras que la tasa de preñez es la proporción de vacas que gestan del total elegible para ser inseminado, durante un periodo equivalente a un ciclo estral (21 días).

El porcentaje de concepción permite identificar problemas relacionados con el momento del servicio, la técnica de inseminación y los factores asociados con la muerte embrionaria temprana. La tasa de preñez es un parámetro resultante de dos aspectos: la eficiencia en la detección de estros y el porcentaje de concepción. La tasa de preñez se calcula multiplicando la eficiencia en la detección de estros por el porcentaje de concepción, dividido entre 100. De tal modo que, en un hato con una eficiencia en la detección de estros de 50 por ciento y con un porcentaje de concepción de 30, la tasa de preñez es de 15 por ciento. Este número indica que, de las vacas elegibles para que muestren estro y sean inseminadas sólo el 15 por ciento queda gestante en un periodo de 21 días.

La tasa de preñez permite identificar problemas relacionados con la falla en la concepción y aquellos asociados con la eficiencia en la detección de estros. La mayor pretensión de un veterinario es lograr que la tasa de preñez sea igual al porcentaje de concepción (30 por ciento), esto indicaría que todas las vacas elegibles para mos-



FIGURA II-16. La precisión en la palpación del cuerpo lúteo es de 80 por ciento entre veterinarios con experiencia. Esta es una causa de la baja respuesta en los programas de sincronización del estro con $\text{PGF}_{2\alpha}$. La tendencia en los hatos lecheros modernos es la inyección del $\text{PGF}_{2\alpha}$, a grupos de vacas sin palpación rectal.

trar estro fueron inseminadas (100 por ciento de eficiencia en la detección de estros). Una tasa de preñez global aceptable es de 20 por ciento. Cabe destacar que en los hatos de Estados Unidos la tasa de preñez promedio es de 15 por ciento. El aumento de la fertilidad global del hato mediante un incremento en el porcentaje de concepción es una meta realmente difícil. Sin embargo, sí se puede incrementar mediante el aumento de la tasa de preñez, es decir, aumentando el número de vacas inseminadas.

En un estudio realizado en México, se elaboró un modelo matemático que simula el comportamiento de un hato y estima la utilidad con distintas tasas de preñez. La utilidad por vaca al año con una tasa de preñez de 15 por ciento fue de 3071 pesos. Cuando la tasa de preñez se incrementa cinco puntos porcentuales, la utilidad aumenta 3742 pesos. La simulación se hizo con un porcentaje de concepción fijo de 30, de tal manera que el aumento de la tasa de preñez depende sólo del incremento de la eficiencia en la detección de estros.

Para lograr que las vacas estén pariendo cada 13 meses, la vaca debe quedar gestante en los primeros 110 días posparto. Debido a que se comienza a servir después del día 50 posparto (periodo voluntario de espera) sólo se cuenta con dos o tres oportunidades (dos o tres ciclos estrales de 21 a 23 días). Si se espera que la vaca sea inseminada cuando por azar sea observada en calor (50 por ciento de eficiencia en la detección de estros), se requerirán cuatro ciclos estrales

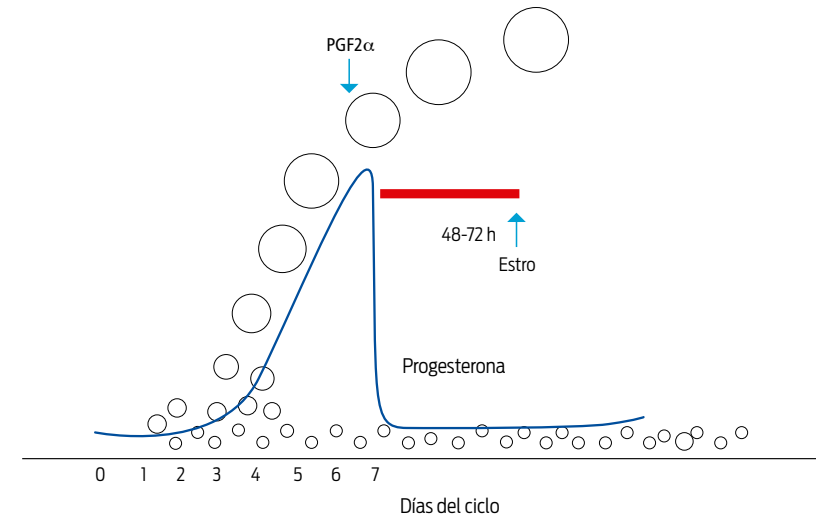


FIGURA II-17. En las vacas tratadas con $\text{PGF}_{2\alpha}$ entre los días seis a ocho del ciclo estral, el tiempo de presentación del estro es de 48 a 72 horas, debido a que en esta etapa del diestro las vacas tienen un folículo dominante, al cual le tomará menos tiempo completar su desarrollo.

(90 días) para dar el primer servicio a 95 por ciento de las vacas. Bajo estas condiciones, más de la mitad de las vacas no habrán iniciado su gestación antes del día 110 posparto. Por tanto, la única opción para aumentar el porcentaje de vacas gestantes en los primeros 110 días posparto es mediante la implantación de técnicas de sincronización del estro, todo ello apoyado con métodos que aumenten la eficiencia en la detección de estros.

2.8 Control del ciclo estral para incrementar la tasa de preñez

Los tratamientos para sincronizar el estro se basan en la destrucción del cuerpo lúteo mediante la administración de la $\text{PGF}_{2\alpha}$, o en la inhibición de la ovulación con el uso de progestágenos.

2.8.1 Prostaglandina $F_{2\alpha}$

La administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$ entre los días 6 al 17, del ciclo estral, provoca la regresión del cuerpo lúteo, lo que resulta en la presentación del estro en las siguientes 48 a 120 horas.

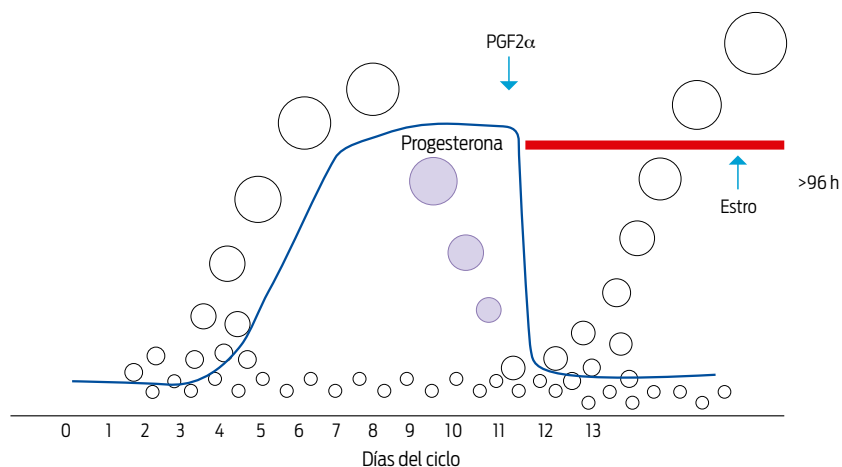


FIGURA II-18. En las vacas tratadas con PGF2 α entre los días 10 a 12 del ciclo estral, el tiempo de presentación del estro es mayor de 96 horas, ya que en esta parte del diestro un porcentaje alto de las vacas tiene folículos pequeños.

La PGF2 α se utiliza para la sincronización de los estros en grupos de vacas, y también se utiliza para la inducción del estro en forma individual, en aquellas vacas que tienen un cuerpo lúteo. La respuesta de los animales tratados es variable; en vaquillas se puede lograr hasta un 95 por ciento de animales en estro, mientras que en vacas en lactación, la respuesta fluctúa de 45 a 70 por ciento. Los factores más importantes que determinan la variación en la respuesta se tratan a continuación.

2.8.1.1 Precisión en la palpación rectal del cuerpo lúteo

La PGF2 α es efectiva sólo en las vacas durante el diestro; es decir, cuando tienen un cuerpo lúteo funcional (días 6 al 17 del ciclo estral). El error que se comete con mayor frecuencia consiste en tratar vacas que no tienen un cuerpo lúteo. En pruebas realizadas con veterinarios experimentados se obtuvo 80 por ciento de precisión en la palpación del cuerpo lúteo, lo cual significa que 20 por ciento de las vacas tratadas no tuvieron un cuerpo lúteo y, por tanto, no responden a la PGF2 α (FIGURA II-16).

2.8.1.2 Efectividad de la PGF2 α para provocar regresión lútea

Frecuentemente se piensa que determinada PGF2 α comercial es más eficaz que otra. Se han probado diferentes marcas de PGF2 α , natu-

rales y sintéticas, mediante la determinación de las concentraciones de progesterona, y se ha encontrado que todas ellas destruyen con la misma eficacia al cuerpo lúteo. En estas pruebas, las concentraciones de progesterona alcanzaron niveles basales entre 24-36 horas después del tratamiento. Alrededor de cinco por ciento de las vacas con cuerpos lúteos funcionales no sufren regresión lútea, por causas desconocidas. Además, en los primeros cinco días el cuerpo lúteo no es susceptible al efecto luteolítico de la PGF2 α .

2.8.1.3 Etapa del diestro en que se aplica la PGF2 α

Después del tratamiento con PGF2 α el estro se presenta entre 48 a 120 horas, concentrándose 75 por ciento de los estros en las primeras 96 horas. La causa de la variación en la respuesta, radica en la variabilidad de la población folicular entre vacas, al momento del tratamiento. Si la vaca tiene un folículo de ~10 mm de diámetro tardará menos tiempo (48 a 72 horas; FIGURA II-17) en presentar el estro que una vaca que tiene folículos menores de 5 mm (> 96 horas; FIGURA II-18). Esta condición limitó, durante muchos años, la inseminación artificial a tiempo fijo. Sin embargo, actualmente hay tratamientos hormonales que permiten homogeneizar la población folicular para obtener mejor sincronización del estro y de la ovulación, lo cual permite la inseminación a tiempo fijo (IATF) con buenos resultados.

2.8.1.3 Detección de estros

Frecuentemente la causa de la pobre respuesta en los programas de sincronización del estro con PGF2 α radica en la baja eficiencia en la detección de estros.

2.8.2 Programas con PGF2 α

2.8.2.1 Doble inyección con 11 o 14 días de diferencia

Además de la sincronización de las vacas seleccionadas por la presencia de un cuerpo lúteo mediante palpación rectal, hay otras posibilidades que no requieren de este manejo. En estos programas se administran dos dosis de PGF2 α con 11 o 14 días de separación. Así, en la primera inyección responden las vacas que están en diestro; 11 o 14 días después de la primera inyección, tanto las vacas que presentaron estro con la primera dosis como las que no, estarán en diestro. La elección de 11 o 14 días de separación entre las inyecciones

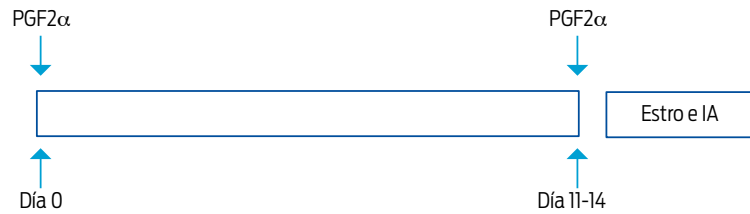


FIGURA II-19. Programa de sincronización del estro con doble inyección de PGF2α. Con este programa se espera que al momento de la segunda inyección de PGF2α todas las vacas estén en diestro y una alta proporción de ellas mostrará estro.

de PGF2α depende de las condiciones y del tipo de ganado. En vacas lecheras en lactación se recomiendan 14 días de diferencia, debido a que tienen mayor variación en la duración del ciclo estral y, además, con este intervalo las inyecciones se pueden aplicar los días lunes, lo cual favorece la detección de estros. En vaquillas se puede optar por la doble inyección de PGF2α, con 11 días de separación (FIGURA II-19).

2.8.2.2 Programa de sincronización del estro con PGF2α cada 14 días

En el ganado lechero se ha facilitado la inseminación artificial mediante la inyección de la PGF2α cada 14 días. Este programa consiste en la inyección de PGF2α entre los 30 o 40 días posparto, la cual se repite cada 14 días, hasta que la vaca es inseminada. Estos programas se conocen en los hatos lecheros como presincronización. Las vacas que no son inseminadas después de las inyecciones de PGF2α entran al programa de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo. Se espera que la proporción de vacas que no son servidas durante la presincronización y llegan al programa de IATF, no debe ser mayor de 25 por ciento.

2.8.2.3 Sincronización de las oleadas foliculares

En los últimos años se han desarrollado diversos programas de sincronización de estros que combinan diversas hormonas para que los estros y la ovulación se presenten mejor sincronizados y facilite la IATF.

La fertilidad del estro sincronizado es influida por la longitud del periodo de dominancia del folículo ovulatorio; de esta forma, la ovulación de un folículo joven (fresco) tendrá mayor probabilidad de producir una gestación que la ovulación de un folículo que permaneció

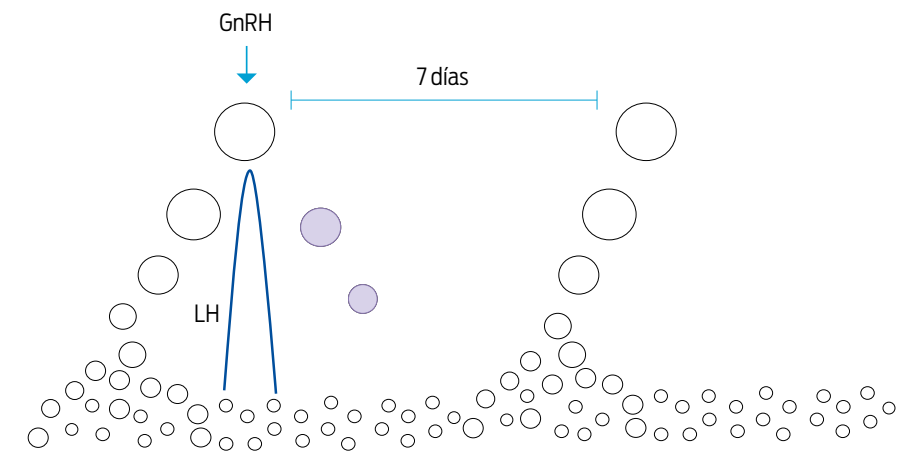
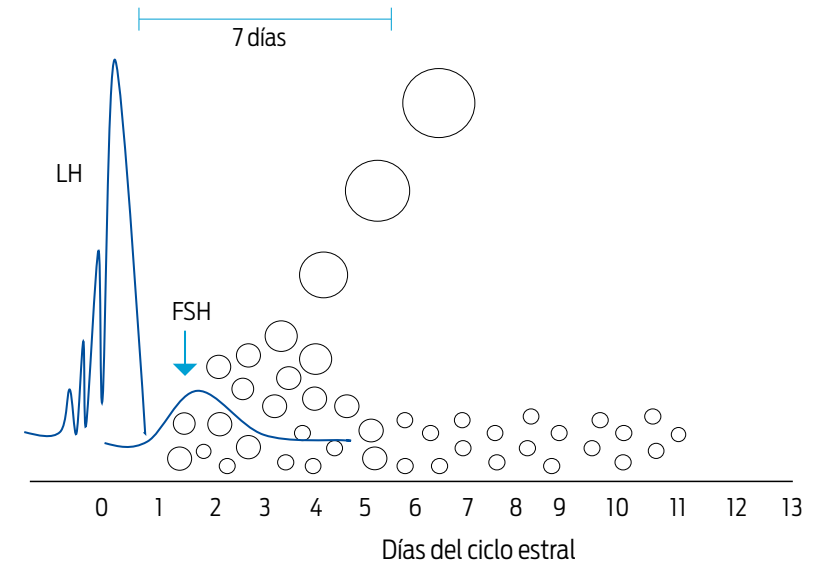


FIGURA II-20. En todas las vacas la primera oleada folicular está sincronizada, ya que después de la ovulación se incrementa la FSH, dando inicio al reclutamiento folicular. Siete días después de la ovulación todas las vacas tienen un folículo dominante de un tamaño similar (figura A). La sincronización de la oleada folicular se puede lograr mediante la inyección de GnRH, con lo cual se provoca la luteinización de los folículos de ≥ 8 mm de diámetro, cambio seguido de la secreción de FSH y por el inicio de la oleada folicular. Siete días después de la inyección de GnRH habrá un folículo preovulatorio (figura B).

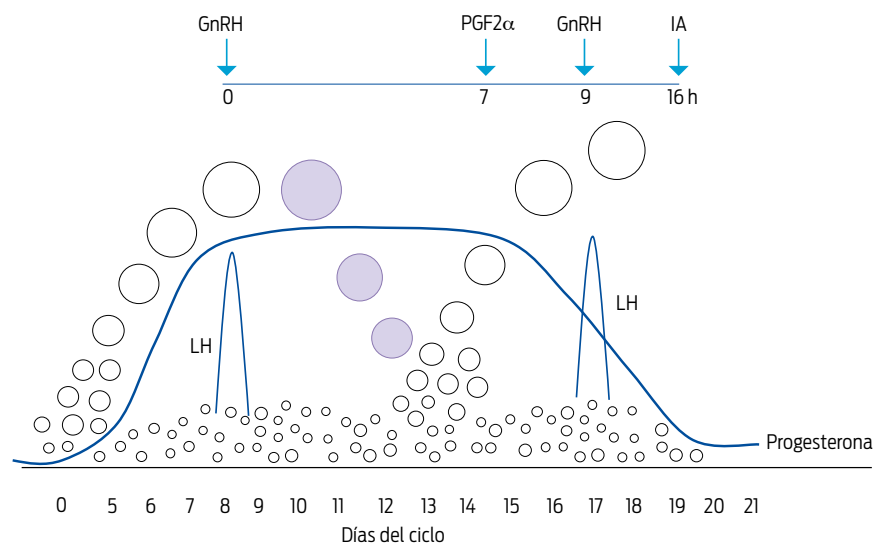


FIGURA II-21. La primera inyección de GnRH ocasiona una secreción de LH parecida a la preovulatoria, la cual induce la luteinización o atresia de los folículos ≥ 8 mm de diámetro, iniciándose así una nueva oleada folicular. Debido a que la primera inyección de GnRH se realiza en el diestro temprano (días seis a nueve), al momento de la inyección de PGF2 α las vacas continúan en diestro y la mayoría tiene un folículo con un grado de desarrollo similar, el cual ovula en respuesta a la segunda inyección de GnRH.

más de seis días como dominante (folículos viejos). Se han desarrollado tratamientos que promueven la homogeneización de la población folicular entre las vacas y con ello la ovulación de folículos jóvenes.

Se conoce que después de la ovulación bajan las concentraciones de las hormonas inhibitoras de la secreción de la FSH (inhibina y estradiol) y se observa un incremento de esta gonadotropina, lo cual provoca el reclutamiento folicular y el inicio de la primera oleada folicular, lo que resulta en la presencia de un folículo joven (dominante) en los días seis o siete del ciclo estral. La inducción de la ovulación o luteinización de los folículos dominantes con la GnRH o con la hCG provoca el inicio sincronizado de una oleada folicular, tal y como ocurre después de la ovulación espontánea. También se puede provocar el recambio folicular mediante la administración de estradiol o progesterona; hormonas que disminuyen la frecuencia de los pulsos de LH, lo cual induce la atresia del folículo y el inicio de una nueva oleada folicular (FIGURA II-20). Estas técnicas de sincroni-

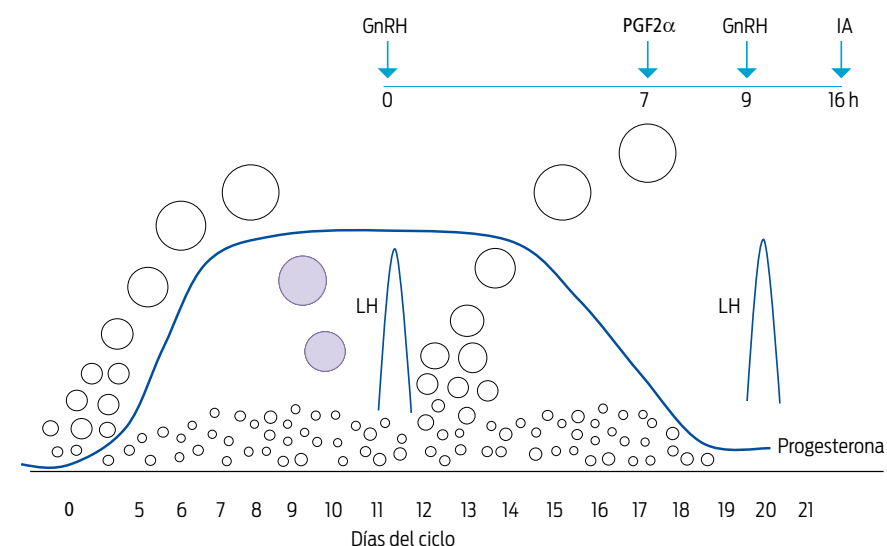


FIGURA II-22. Cuando la primera inyección de GnRH se aplica después del día 10 del ciclo, la luteólisis natural ocurre antes de la inyección de la PGF2 α , provocando que estas vacas no respondan a la sincronización de la ovulación y deban inseminarse cuando se observe el estro.

zación de las oleadas foliculares son utilizadas en los programas de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo, en la sincronización de estros con progestágenos y también en los programas de superovulación.

2.8.2.4 Sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo

Un sueño de los fisiólogos de la reproducción bovina en la década de los sesenta fue desarrollar un método que permitiera la inseminación artificial sin la detección previa del estro. En la década de 1970 con el advenimiento de la PGF2 α , los investigadores pensaron que ese momento había llegado; sin embargo, no fue así debido a que entre la inyección de la hormona y la presentación del estro había mucha variación, por tanto, cuando se inseminaba a tiempo fijo la fertilidad era muy pobre porque mientras algunas vacas recibían servicio muy temprano, otras eran inseminadas demasiado tarde.

El empleo de la ecografía transrectal en la década de 1980 permitió caracterizar la dinámica folicular y se descubrió que el tiempo

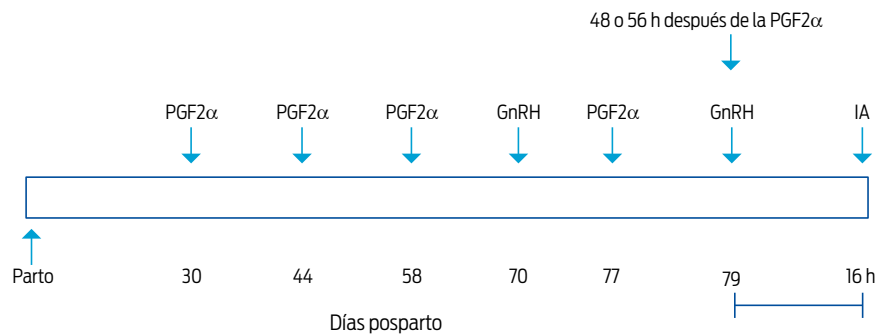


FIGURA II-23. Con este programa las vacas estarán entre los días seis a nueve del ciclo estral al momento de la primera inyección de GnRH.

entre la inyección de la PGF2α y la presentación del estro dependía de la etapa de la oleada folicular cuando se inyectaba la PGF2α. En la década de 1990 se desarrollaron programas que permitieron sincronizar las oleadas foliculares, disminuyéndose así la variación en la presentación del estro y ovulación. Fue así como se dio origen a los programas de sincronización de la ovulación e inseminación artificial a tiempo fijo, tal como se conocen en la actualidad. En estos programas las vacas se sincronizan con PGF2α (presincronización) cada 14 días, a partir del día 30 o 40 posparto, con el propósito de que al momento de iniciar la sincronización de la ovulación estén en el diestro temprano, de cinco a nueve. La sincronización de la ovulación inicia 12 días después de la última inyección de PGF2α; comienza con la inyección de GnRH (día 0), seguida de la inyección de PGF2α (día siete) posteriormente se administra la segunda dosis de GnRH (día nueve) y se insemina 16 horas después. La primera inyección de GnRH ocasiona una secreción de LH parecida a la preovulatoria, la cual induce la ovulación o la luteinización de los folículos ≥ 8 mm de diámetro, iniciándose una nueva oleada folicular, condición similar a la observada después de la ovulación espontánea. Dado que la primera inyección de GnRH se realiza en el diestro temprano, al momento de la inyección de PGF2α, las vacas continúan en diestro y la mayoría de ellas tiene un folículo con un grado de desarrollo similar, el cual ovula en respuesta a la segunda inyección de GnRH (FIGURA II-21, II-22, II-23).

2.8.2.4 Inseminar a tiempo fijo o a estro detectado

En la práctica, se suscita la discusión sobre los beneficios que ofrece la IATF en comparación con los programas tradicionales, como es la sincronización con PGF2α y la detección de calores. Algunos veterinarios manejan la reproducción del hato con prostaglandinas, detección de calores apoyados con el uso de podómetros y crayoneo, obteniendo tasas de preñez comparables con otros establos que utilizan programas de IATF.

Si en los hatos se resolviera la baja eficiencia en la detección de estros tal vez no habría necesidad de los programas de IATF, pero este problema lejos de resolverse se ha agudizado. Adoptar una postura radical cuando se elige un determinado programa de manejo reproductivo no es conveniente, ya que aún cuando el programa esté basado en el uso de PGF2α y en la detección del estro, existirán vacas con 70 a 80 días posparto sin servicio y que podrían ser candidatas para un protocolo de IATF, con buenos resultados.

Otro factor que se debe considerar en la elección del programa reproductivo, es el personal con el que se cuenta en el establo. La IATF en cualquiera de sus versiones es un programa validado, esto significa que si se realiza como está indicado, los resultados serán favorables; sin embargo, si el personal inyecta la hormona equivocada o lo hace en un horario incorrecto y además si la inseminación no se hace en el tiempo señalado en el programa, los resultados serán pobres. Inseminar a tiempo fijo o a estro detectado es una decisión que depende del análisis de las características de cada hato y conviene tener presente que no son técnicas excluyentes sino complementarias.

2.8.2 Progestágenos

Los progestágenos constituyen un grupo de hormonas esteroides, las cuales se caracterizan por ser liposolubles, termoestables y por no inactivarse en el tracto digestivo. Estas propiedades permiten administrarlas por vía oral, intravaginal o en implantes subcutáneos. La progesterona es un progestágeno natural y es el único aprobado para utilizarse en vacas en lactación. También hay progestágenos sintéticos como el Acetato de Melengestrol (MGA) y Norgestomet, los cuales se utilizan en programas con vaquillas.

Los progestágenos suprimen la secreción de LH, lo que resulta en la inhibición de la ovulación. Durante el periodo de administra-

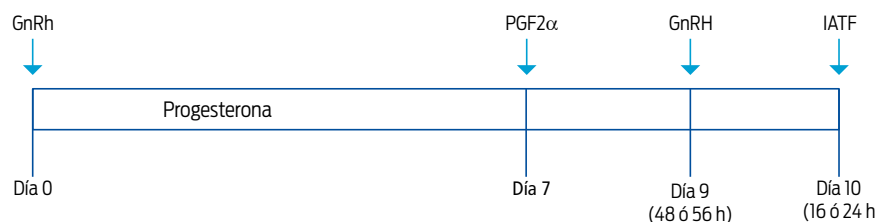


FIGURA II-24. Programa de sincronización e inseminación a tiempo fijo con un dispositivo intravaginal de progesterona. La primera inyección de GnRH induce la ovulación y luteinización de algún folículo ≥ 8 mm de diámetro. El día siete se retira el dispositivo y se inyecta PGF2 α . La segunda de GnRH induce la ovulación. La inseminación a tiempo fijo se recomienda 16 a 24 horas después.

ción, el cuerpo lúteo sufre regresión natural y al retirar el tratamiento el estro se presenta de 48 a 96 horas.

En el mercado existen dispositivos que se insertan en la vagina y liberan progesterona. El dispositivo puede utilizarse durante 12 días o se puede acortar el periodo de tratamiento, siempre y cuando se acompañe con la inyección de una dosis luteolítica de PGF2 α , un día antes o al momento de retirar el dispositivo. Por ejemplo, hay tratamientos de siete días, con buenos resultados.

Un tratamiento utilizado para la sincronización de la ovulación e IATF consiste en la inserción de un dispositivo liberador de progesterona durante siete días. El día de la inserción (día 0) se inyecta GnRH; el día siete se retira el dispositivo y se inyecta PGF2 α ; el día nueve se inyecta GnRH y se insemina a tiempo fijo 16 o 24 horas después. Este programa ha demostrado eficacia y preferentemente se utiliza para la inducción de la ovulación en vacas anéstricas (FIGURA II-24).

2.9 Numeralia

- En Estados Unidos se pierden 300 millones de dólares por la baja eficiencia en la detección de estros.
- La eficiencia en la detección de estros en México es de 40 a 50 por ciento.
- La meta de la eficiencia en la detección de estros es de >60 por ciento.
- Con observación de las vacas en dos periodos al día de tres horas cada uno (mañana y tarde) se puede tener una eficiencia en la detección de estros de 80 por ciento.

- Menos de 20 por ciento de las vacas deben tener intervalo entre servicios doble y ninguna de más de 48 días.
- La tasa de preñez se obtiene multiplicando la eficiencia en la detección de estros por el porcentaje de concepción y se divide entre 100 ($50 \times 30 / 100 = 15$ por ciento).
- La tasa de preñez en los hatos de Norteamérica es de 15 por ciento.
- En Estados Unidos por cada punto porcentual que disminuya la tasa de preñez se deja de percibir de 12 a 15 dólares por vaca al año.
- En México, por cada punto porcentual que se incremente la tasa de preñez, en el rango de 15 a 20 por ciento se genera un ingreso anual adicional de 748 pesos por vaca.
- No más de 25 por ciento de las vacas deben estar vacías en el día 150 posparto.
- No más de ocho por ciento de las vacas deben estar abiertas en el día 250 posparto.
- Ocho por ciento de las vacas debe quedar gestante cada mes.
- El estro se presenta de 48 a 120 horas después del tratamiento con PGF2 α .
- Ochenta por ciento es la precisión en la palpación del cuerpo lúteo.
- Catorce días deben transcurrir entre dos inyecciones de PGF2 α .
- Menos de 25 por ciento de las vacas incluidas en el programa de presincronización deben llegar a la IATF.
- En la sincronización de la ovulación, la primera inyección de GnRH debe practicarse entre los días cinco a nueve del ciclo estral.
- La inseminación a tiempo fijo se realiza 14 a 16 horas después de la segunda inyección de la GnRH.
- Doce días dura el tratamiento con los dispositivos intravaginales liberadores de progesterona. Si la duración del tratamiento es menor debe inyectarse PGF2 α al retirarlo.

2.10 Literatura recomendada

- Dobson H, Smith R, Royal M, Knight Ch, Sheldon I. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod Domest Anim* 2007; 42 Suppl 2:17-23.
- Galon N. The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. *J Reprod Dev.* 2010, 56 Suppl:S48-52.

- Lopez H, Satter LD, Wiltbank MC. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2004; 81:209–223.
- Macmillan KL. Recent advances in the synchronization of estrus and ovulation in dairy cows. *J Reprod Dev.* 2010, 56. Suppl:S42-7.
- O'Connor ML. Estrus detection. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. *Large Animal Theriogenology 2*. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:270-278.
- Roelofs J, López-Gatius F, Hunter RH, van Eerdenburg FJ, Hanzen Ch. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 2010,74:327-344.

TRES. GESTACIÓN

El establecimiento de la gestación es el objetivo fundamental de los programas reproductivos. Después de la fertilización el cigoto se divide y da origen a embriones de dos, cuatro, ocho, dieciséis células, y en el día siete el embrión tiene más de 80 células. Entre los días 16 a 18 del ciclo estral el embrión se alarga y alcanza una longitud de 15 cm. El establecimiento de la gestación depende de que el embrión suprima la secreción de la PGF2 α , lo cual se consigue mediante la secreción de interferón- τ . En la vaca lechera una alta proporción de los embriones mueren antes del reconocimiento materno de la gestación.

Para evitar las pérdidas embrionarias es importante conocer la fisiología de la gestación. En este capítulo se describen los principales procesos fisiológicos que conducen al establecimiento y mantenimiento de la gestación, y el manejo de la vaca gestante.

3.1 Transporte de los gametos

Los gametos, óvulo y espermatozoide, se definen como células germinales maduras que poseen un número haploide de cromosomas que cuando se unen dan lugar a un nuevo individuo genéticamente diferente a ambos padres.

3.1.1 Transporte de los espermatozoides

Los espermatozoides obtenidos directamente del testículo son funcionalmente inmaduros, incapaces de fertilizar al óvulo. Durante su estancia en el epidídimo, los espermatozoides sufren cambios en la morfología, movilidad y metabolismo, lo que les confiere la habilidad de fertilizar. No obstante, deberán pasar cierto tiempo en el aparato genital de la hembra para que adquieran el estado óptimo para fertilizar; proceso conocido como capacitación.

Durante la monta natural, la eyaculación ocurre en la vagina y son depositados alrededor de 5 mil millones de espermatozoides



(volumen del eyaculado de tres a cinco mL y concentración espermática de 1000 a 1200 millones por mL) suspendidos en el plasma seminal, este último lo constituyen básicamente las secreciones de las vesículas seminales y próstata. Después de la eyaculación, el transporte de los espermatozoides es favorecido por las contracciones uterinas y vaginales que ocurren durante y después de la cópula. En los primeros minutos después de la cópula ya se pueden encontrar espermatozoides en el oviducto, lo cual se debe a las contracciones del aparato genital. Durante el transporte espermático, es importante la movilidad individual, ya que sólo los espermatozoides con esta capacidad llegan al sitio de la fertilización.

El primer sitio en que se establece una población de espermatozoides es el cérvix, particularmente en las criptas en las cuales permanecen protegidos de la fagocitosis. Es importante notar que sólo los espermatozoides móviles permanecen en las criptas; los muertos o los que no tienen movimiento son eliminados por fagocitos o por el movimiento del moco cervical hacia la vagina. Aunque en el cérvix se establece una población temporal de espermatozoides, el reservorio funcional de espermatozoides se localiza en la región distal del istmo.

Las características del moco cervical son importantes para el transporte espermático; así, durante el estro y la ovulación, el moco es más acuoso lo que favorece la migración espermática mientras que durante la fase lútea el moco se vuelve más viscoso, lo cual dificulta su movimiento.

Ya en el útero, el transporte espermático depende principalmente de las contracciones uterinas. Aquí, los espermatozoides están suspendidos en las secreciones uterinas, las cuales tienen como función favorecer su viabilidad y transporte. Las secreciones uterinas contienen fagocitos que remueven los espermatozoides muertos e inmóviles, aunque también los espermatozoides normales son eliminados por este medio. Algunas sustancias como prostaglandinas y oxitocina favorecen el transporte.

El oviducto juega un papel muy importante en el transporte y maduración de los gametos, fertilización y desarrollo embrionario temprano. Las características de las secreciones del oviducto cambian de acuerdo con la región del oviducto y con la etapa del ciclo estral. Una vez que los espermatozoides alcanzan el oviducto se distribuyen en dos sitios. Algunos espermatozoides son transportados inmediatamente a la región del ámpula; esos son los primeros

que se encuentran con el ovocito, pero su capacidad fertilizante es limitada. El otro sitio de distribución es la región caudal del istmo; aquí permanecen hasta que la ovulación es inminente. Para que ocurra la fertilización es necesario que en este sitio se establezcan los espermatozoides por un periodo de seis a ocho horas, antes de la ovulación. Una a dos horas, previo a la ovulación, se observa un movimiento activo de espermatozoides hacia la región del ámpula.

En el oviducto, el transporte de los espermatozoides depende de su movimiento, del fluido oviductal, y de las contracciones musculares. Es frecuente que algunos espermatozoides continúen su movimiento y lleguen a salir por la fimbria. La viabilidad de los espermatozoides de un eyaculado fluctúa de 24 hasta 48 horas.

3.1.2 Transporte del ovocito

La ovulación es el proceso mediante el cual el ovocito es liberado. Este suceso es desencadenado por la secreción de LH conocida como pico ovulatorio o preovulatorio de LH.

Por efecto de la LH el *cúmulus* se desprende de la pared del folículo y comienza a observarse un adelgazamiento en una pequeña zona de la pared del mismo, la cual es provocada por isquemia y por acción de enzimas proteolíticas. Posteriormente en esa zona se forma una pequeña vesícula que protruye (estigma) y se rompe eventualmente. Después de la ruptura del estigma, sale el *cúmulus* que contiene al ovocito junto con células de la granulosa. El ovocito es captado por la fimbria; proceso apoyado por movimientos de los cilios de la mucosa y por contracciones de los pliegues de esta estructura. Una vez captado el ovocito es transportado hasta el ámpula.

3.2 Fertilización

La fertilización es el proceso mediante el cual los gametos, masculino y femenino, se unen para formar el cigoto, célula a partir de la cual se desarrollará un nuevo individuo. La fertilización comienza con la penetración del espermatozoide y termina con la unión de los dos juegos haploides de cromosomas (pronúcleos); proceso conocido como singamia.

Antes de la fertilización los espermatozoides deberán capacitarse, es decir, deberán ocurrir en ellos cambios morfológicos y fisiológicos que los habiliten para fertilizar. Estos cambios comprenden un incremento en la movilidad (lineal y frenético, el cual facilita



el contacto con el ovocito) y la fusión de la membrana externa del acrosoma con la membrana plasmática, con el propósito de liberar las enzimas (acrosina y hialuronidasa); este proceso se conoce como reacción acrosomal y es el cambio más importante, ya que, de no ocurrir, el espermatozoide es incapaz de fertilizar. La capacitación toma en promedio cuatro horas y ocurre en la región caudal del istmo; cabe señalar que la reacción acrosomal se lleva a cabo cuando el espermatozoide establece contacto con el ovocito.

Por su parte el ovocito, como consecuencia del pico preovulatorio de LH, reinicia la meiosis, la cual fue suspendida en la profase de la primera división meiótica al momento del nacimiento. El ovocito se libera cuando se encuentra en la metafase de la segunda división meiótica; en esta etapa la meiosis se detiene y se reactiva cuando penetra el espermatozoide.

La penetración del espermatozoide es facilitada por la acción de la hialuronidasa y acrosina. Una vez que la membrana plasmática del espermatozoide entra en contacto con la membrana vitelina, se fusionan, incorporándose la cabeza del espermatozoide en el citoplasma del óvulo; posteriormente el núcleo del espermatozoide se transforma en el pronúcleo masculino y simultáneamente la cromatina del óvulo forma el pronúcleo femenino.

Con la penetración del espermatozoide al ovocito, se activa el mecanismo de bloqueo de la polispermia; mediante el cual se evita que más de un espermatozoide penetre. El bloqueo de la polispermia se consigue mediante la liberación de sustancias (mucopolisacáridos, proteasas, activador del plasminógeno, fosfatasa ácida y peroxidasa) contenidas en los gránulos corticales, los cuales se encuentran localizados por debajo de la membrana plasmática. Cuando penetra el espermatozoide, dichas sustancias son liberadas al espacio perivitelino, en donde provocan cambios bioquímicos en la zona pelúcida y en la membrana plasmática, los cuales evitan que penetren más espermatozoides. El mecanismo de bloqueo de la polispermia es menos eficaz conforme el óvulo envejece, de tal forma que después de 10 horas de haber ocurrido la ovulación este mecanismo falla, de ser así penetrarían más de un espermatozoide. La consecuencia de la polispermia es la muerte embrionaria temprana debido a alteraciones de naturaleza genética. Este último aspecto es una causa frecuente de infertilidad cuando se realiza la inseminación tardía, es decir, después de que ha ocurrido la ovulación.

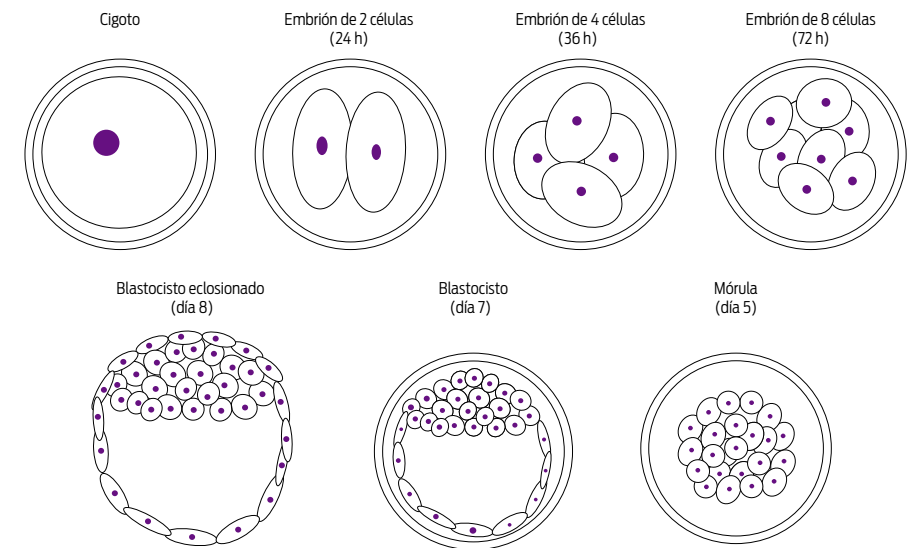


FIGURA III-1. Etapas del desarrollo embrionario temprano.

3.3 Desarrollo embrionario

Se le denomina cigoto a la estructura constituida por la fusión de los pronúcleos, los cuales forman el núcleo de la primera célula diploide. A partir de que el cigoto sufre la primera división y se forma una estructura con dos células, ya se le llama embrión. Se seguirá llamando embrión hasta que termine la organogénesis y adquiera las características fenotípicas propias de cada especie; a partir de este momento se le denomina feto. Las primeras divisiones embrionarias se caracterizan por un incremento en el número de células, las cuales contienen la mitad del citoplasma de las células que les dieron origen. Las células embrionarias, durante las primeras divisiones, se les llama blastómeros. En las primeras etapas del desarrollo embrionario (dos, cuatro y ocho células) cada blastómero tiene la capacidad de desarrollar, en forma independiente, un embrión; por lo anterior, se dice que los blastómeros en estas fase son pluripotentes (FIGURA III-1).

La mórula (16 células) es el estado embrionario en el cual las células se agrupan y se compactan; esta estructura continúa con su crecimiento hasta que se transforma en un blastocisto, en el cual ya se pueden diferenciar dos grupos de células; uno de ellos (masa

Figura III-1. Definición de algunos términos relacionados con el desarrollo embrionario en la vaca.

Día 0	Día del servicio o día del estro
Fertilización (<i>Fertilization</i>)	Unión de los gametos masculino y femenino para formar el cigoto. Se debe evitar el término concepción
Tasa de fertilización (<i>Fertilization rate</i>)	Porcentaje de ovocitos fertilizados. Este término se utiliza sólo en la producción de embriones <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i>
Adhesión (<i>Attachment</i>)	Adhesión del embrión a la mucosa uterina. Se debe evitar el término implantación
Periodo de preadhesión (<i>Pre-attachment period</i>)	Periodo comprendido del día 0 al 16
Embrión temprano (<i>Early embryo</i>)	Embrión antes de adherirse
Muerte embrionaria temprana (<i>Early embryonic mortality</i>)	Muerte del embrión antes de adherirse
Segmentación (<i>Cleavage</i>)	División celular del cigoto hasta el estado de 16 células
Compactación (<i>Compactation</i>)	Cambio de forma de las células embrionarias, de esféricas a poligonales (formación de la mórula)
Blastulación (<i>Blastulation</i>)	Formación de la cavidad dentro del embrión (Formación del blastocisto)
Expansión (<i>Expantion</i>)	Aumento del diámetro del embrión, el cual ocasiona adelgazamiento de la zona pelúcida
Eclósión (<i>Hatching</i>)	Salida del embrión de la zona pelúcida.
Elongación o alargamiento (<i>Elongation</i>)	Transformación del embrión en una estructura filamerosa de aproximadamente 1.5 cm de largo en el día 12 y de 14 cm en el día 16
Feto	Así se le denomina al embrión que ha completado la organogénesis (42 a 45 días)
Porcentaje de concepción (<i>Conception rate</i>)	Es la proporción de vacas gestantes del total servido. Este indicador se calcula al momento de diagnóstico de gestación. No se debe confundir con la tasa de fertilización

Adaptado de: Peippo *et al.* Terminologies for the pre-attachment bovine embryo. *Theriogenology* 2011, 76:1373–1379.

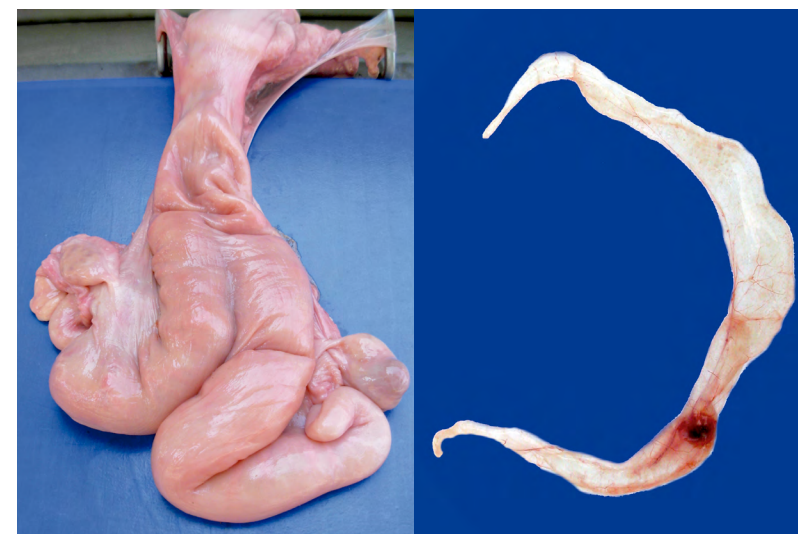


FIGURA III-2. Entre los días 16 a 18 posinseminación el embrión produce Interferón- τ , con lo cual se inhibe la síntesis de PGF 2α en el endometrio.

celular interna) a partir del cual se desarrollará el embrión y el otro del que se diferenciará la placenta (trofoblasto).

Hasta este momento el embrión todavía se encuentra rodeado por la zona pelúcida, la cual se pierde el día ocho (eclosión). La zona pelúcida se rompe debido al adelgazamiento progresivo y a un aumento en la masa embrionaria. Después de la eclosión el embrión experimentará un crecimiento acelerado y la relación madre-embrión será más compleja y dinámica (CUADRO III-1).

El tiempo de transporte del embrión, a través del oviducto, es de tres a cuatro días, es dependiente de la musculatura de este órgano y de las secreciones de esta estructura, del balance hormonal entre la progesterona y estradiol durante los primeros días después de la ovulación, y además, en ello participan factores de crecimiento, así como prostaglandinas.

3.4 Reconocimiento materno de la gestación

Entre los días 17 y 19 del ciclo estral, el endometrio produce PGF 2α y ocurre la luteólisis. El establecimiento de la gestación depende de que el embrión suprima la secreción de la PGF 2α , lo cual logra mediante la secreción del interferón- τ . Una de las causas más impor-

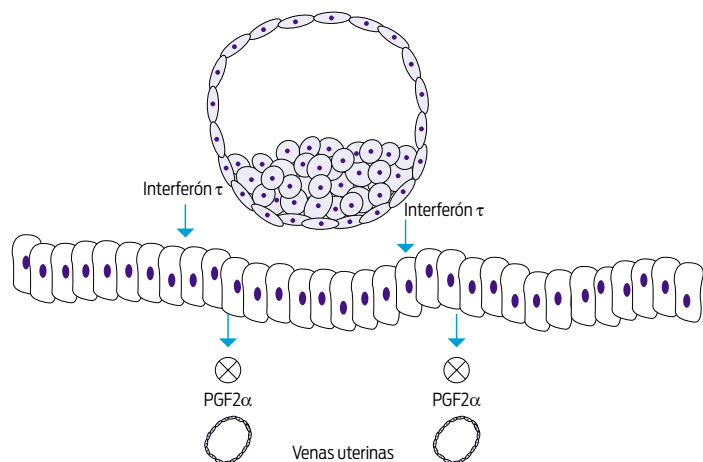


FIGURA III-3. El interferón- τ inhibe la síntesis de PGF2 α en el endometrio, con lo que se evita la regresión del cuerpo lúteo.

tantes en la falla de la concepción es el retraso del desarrollo embrionario, lo que da como resultado la incapacidad del embrión para producir suficiente interferón- τ ; bajo estas circunstancias el endometrio secreta PGF2 α , ocurre la luteólisis y la vaca regresa en estro en un tiempo equivalente a la duración de un ciclo estral normal (FIGURA III-2; FIGURA III-3).

Los factores que afectan negativamente el desarrollo embrionario y, en consecuencia, su capacidad para producir interferón- τ son de naturaleza diversa. Entre ellos destacan estrés calórico, sustancias embriotóxicas, disminución de la condición corporal y bajas concentraciones de progesterona. Este último factor adquiere mayor relevancia en las vacas lecheras altas productoras, debido a que sus cuerpos lúteos producen menos progesterona y a que esta hormona se elimina más rápido de la sangre, debido al elevado metabolismo hepático.

Se han desarrollado diversas estrategias para favorecer el reconocimiento materno de la gestación, algunas de ellas orientadas a estimular el desarrollo embrionario mediante el aumento de los niveles séricos de progesterona; o bien, mediante el uso de la hormona bovina del crecimiento. Otras estrategias se basan en modificar la dinámica folicular con lo cual es posible alargar la vida media del cuerpo lúteo y con ello ofrecer más tiempo a los embriones retrasados en desarrollo, para que produzcan suficiente interferón- τ .

3.5 Endocrinología de la gestación

La progesterona es indispensable para el desarrollo embrionario ya que es responsable de regular la función de las glándulas uterinas encargadas de la secreción de sustancias que nutren al embrión. También, esta hormona inhibe la respuesta inmune del útero, lo cual evita que el embrión sea rechazado, ya que es reconocido como tejido ajeno; además, evita las contracciones uterinas. Otras hormonas esteroideas que están presentes durante la gestación son los estrógenos; estas hormonas son producidas en la placenta y sus concentraciones se han asociado con el tamaño del producto. Los estrógenos aumentan en forma significativa al final de la gestación y su función principal consiste en el desarrollo mamario y en el mecanismo del parto.

La placenta produce lactógeno placentario, esta hormona es parecida químicamente a la prolactina y a la hormona del crecimiento, y regula el desarrollo del feto y de la glándula mamaria.

3.6 Placentación

Durante las primeras etapas del desarrollo embrionario, el embrión se mantiene gracias a los nutrimentos aportados por las secreciones del oviducto y del útero (leche uterina), proceso regulado por la progesterona. Durante este periodo, el embrión vive suspendido en la leche uterina y se puede mover con relativa libertad en el lumen del cuerno uterino, del lado donde ocurrió la ovulación. Entre los días 17 y 18 el embrión se adhiere al endometrio.

Posterior a la eclosión del embrión (salida de la zona pelúcida), el trofoblasto comienza a crecer aceleradamente. El trofoblasto da origen al corion, el cual posee pequeñas prolongaciones conocidas como vellosidades coriónicas, las cuales se fijan al endometrio, para el intercambio de sustancias que nutren al embrión. Aunque el tejido de origen fetal que establece relación íntima con el endometrio es el corion, también otras membranas de origen fetal forman la unidad feto-placentaria.

Alrededor de la tercera semana después de la fertilización, se desarrolla el alantoides. Esta membrana comienza como un pequeño saco el cual rápidamente se expande y entra en contacto con el corion. El corion y el alantoides se fusionan formando la membrana corioalantoidea, la cual rápidamente se vasculariza constituyendo un complejo sistema sanguíneo entre el feto y la madre. El amnios

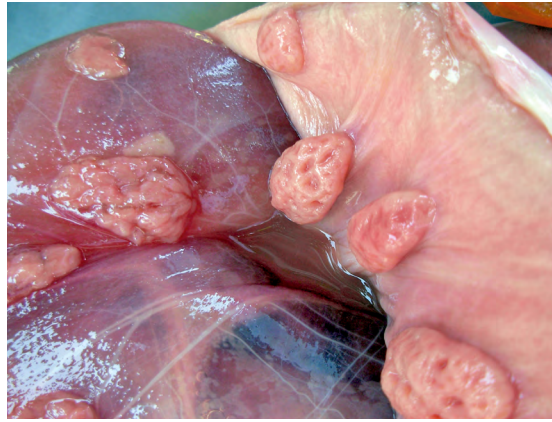


FIGURA III-4. El placentoma es la unidad funcional de la placenta, el cual está formado por la unión del cotiledón, por el lado fetal, y por la carúncula, del lado materno.

se forma a partir del corion, esta membrana envuelve al embrión formando un saco (vesícula amniótica), el cual se llena de fluido (líquido amniótico). El amnios forma un compartimiento en el cual el embrión o feto se desarrolla y además provee una barrera que protege al embrión contra agresiones físicas. También es el medio en el que se depositan sustancias de desecho de origen fetal.

La placenta en la vaca se clasifica como cotiledonaria. En estos animales, el endometrio tiene áreas especializadas llamadas carúnculas, las cuales son regiones que carecen de glándulas y sirven para que se fijen las vellosidades coriónicas y se establezca el intercambio materno-fetal. La unión de las vellosidades coriónicas (cotiledón) y de las carúnculas constituye la unidad funcional conocida como placentoma (FIGURA III-4).

3.7 Diagnóstico de gestación

El diagnóstico precoz de la gestación es una práctica común en los hatos lecheros y tiene como propósito identificar lo más rápido posible a las vacas vacías para reintegrarlas al programa de inseminación. El retorno al estro sería el primer recurso para identificar a las hembras no gestantes; sin embargo, debido a la baja eficiencia en la detección de calores, la mitad de las vacas vacías no son observadas en estro y llegan hasta el diagnóstico de gestación.



FIGURA III-5. La palpación de úteros gestantes permite la capacitación y el reentrenamiento de los veterinarios encargados del manejo reproductivo.

3.7.1 Palpación del útero por vía rectal

Esta técnica es la más práctica y se puede realizar con alta precisión por veterinarios entrenados. Este procedimiento se puede hacer con seguridad a partir del día 40 posinseminación. En ésta etapa de la gestación se debe identificar la vesícula amniótica o el deslizamiento de las membranas corioalantoideas. Cualquiera de estos dos signos es positivo de gestación (FIGURA III-5). Conforme la gestación avanza, se deben encontrar otros signos; así después del día 65 posinseminación es posible palpar al feto y posterior al día 90 ya se pueden palpar los placentomas. Estos dos últimos signos también son considerados positivos de la gestación (CUADRO III-2; CUADRO III-3).

Cuadro III-2. Signos positivos de gestación reconocidos mediante la técnica de palpación rectal

Estructuras	Días de gestación
Deslizamiento de membranas	35-50
Vesícula amniótica	35-45
Feto	> 65
Placentomas	> 90

Cuadro III-3. Tamaño comparativo del feto y edad de la gestación

Tamaño comparativo del feto	Meses de gestación
Ratón	2
Rata	3
Gato pequeño	4
Gato grande	5
Perro mediano	6

La confirmación de la gestación, al momento del secado, es importante ya que permite identificar a las vacas que pudieron haber perdido la gestación (aborto o momificación fetal). En estos casos, estas vacas pueden seguirse ordeñando mientras se intenta gestarlas nuevamente. Si las vacas siguen vacías y ya están secas, se puede inducir la lactancia artificial.

3.7.2 Ecografía

La ecografía de tiempo real es la técnica de elección para el diagnóstico precoz de la gestación. Con el equipo de ecografía es posible diagnosticar una gestación a partir del día 25 posinseminación; sin embargo, es más práctico y tiene menos falsos negativos cuando se hace en el día 30 posinseminación.

El ecógrafo debe estar equipado con un transductor lineal de 5 o 7.5 MHz, el cual se protege con un guante de palpación que contiene gel y se introduce por vía rectal. En el día 30 se puede observar sin dificultad la vesícula amniótica y el latido cardiaco (FIGURA III-6, FIGURA III-7). Un aspecto que se debe considerar es que con el diagnóstico precoz de gestación se estará encontrando un número mayor de vacas gestantes, algunas de las cuales perderán irremediablemente la gestación y regresarán en calor. Esta condición es frecuente y se puede decir que es normal; sin embargo, el ganadero debe estar informado que con esta técnica aumentará el diagnóstico de pérdidas embrionarias, las cuales no eran observadas cuando el diagnóstico se hacía mediante palpación rectal entre los días 40 a 45.

La ventaja del diagnóstico de gestación en el día 30, posinseminación, radica en que se identifican a las vacas vacías cuando



FIGURA III-6. Equipo de ecografía con un transductor lineal transrectal de 7.5 MHz dentro de un guante de palpación que contiene gel.



FIGURA III-7. Equipo de ecografía portátil con monitor tipo visera, para trabajar en los corrales y a cualquier hora del día.

muchas de ellas están en el diestro temprano (días seis al ocho del ciclo); esto, permite sincronizarlas (resincronización) con técnicas convencionales, como la inyección de PGF2 α , o se puede someter a la sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo.

3.7.3 Proteína B específica de la gestación

En los últimos años se ha desarrollado un ensayo inmunoenzimático (ELISA, por su abreviatura en inglés), que permite la determinación de la proteína B específica de la gestación (PSPB, por su abreviatura en inglés), la cual es producida en las células binucleadas del trofoblasto (placenta), aparece en el suero materno desde el día 15 de gestación y se mantiene hasta el día 90 posparto. Las funciones de la

PSPB no están totalmente establecidas; no obstante, observaciones *in vitro* e *in vivo*, la involucran en la liberación de prostaglandinas en el endometrio, implantación, inmunotolerancia al embrión, e involución uterina. Se recomienda medir la PSPB en el suero el día 30 posinseminación y sólo en vacas con más de 90 días posparto, debido a que durante el periodo posparto todavía existen niveles detectables de la PSPB de la gestación anterior. También se deben considerar los falsos positivos atribuibles a muerte embrionaria, ya que los niveles de PSPB permanecen elevados aún días después de la muerte del embrión.

3.7.4 Determinación de las concentraciones de progesterona

La medición de las concentraciones de progesterona entre los días 20 a 24 posinseminación permite saber con mayor objetividad el retorno al estro. Así, concentraciones basales indican que ha ocurrido la regresión lútea, lo que permite asumir con 100 por ciento de precisión que la vaca está vacía. En contraste, concentraciones altas (>1 ng/mL), permiten concluir con una precisión de 75 a 85 por ciento, que la vaca está gestante.

Los falsos positivos se deben a diferencias en la longitud del ciclo estral entre vacas, a quistes luteinizados y piómetra.

3.8 Manejo de la vaca seca

En los programas de manejo del pasado, a la vaca seca se le proporcionaba la comida de peor calidad y permanecían en el olvido hasta que ocurría el parto. Sin embargo, los resultados de estudios demuestran que el periodo seco es determinante para que la vaca alcance un nivel óptimo de producción y para que tenga un buen desempeño reproductivo posparto. Por otra parte, el manejo correcto durante el periodo seco disminuye la incidencia de enfermedades metabólicas durante el puerperio.

El periodo seco tiene como propósito ofrecerle un descanso a la vaca antes del parto, durante el cual el tejido mamario se regenera, el feto logra su máximo crecimiento y la vaca alcanza una condición corporal apropiada para enfrentar una nueva lactación.

La duración recomendada del periodo seco es de seis a ocho semanas (60 días). La involución del tejido de la glándula mamaria

toma de dos a tres semanas y es necesario un periodo similar para el reinicio de la síntesis de leche antes del parto. Así, un periodo seco de 60 días es suficiente; no obstante, actualmente se cuestiona la duración de este periodo y se han propuesto tiempos más cortos. Probablemente en los próximos años se disponga de mayor información que respalde un acortamiento del periodo seco.

En términos de producción, la meta del manejo durante el periodo seco consiste en lograr que la vaca alcance el pico de lactación entre cinco a seis semanas después del parto, con una producción máxima de leche. Se ha estimado que por cada kg de leche que se incrementa en el pico de lactación, se logra un incremento de 120 kg en toda la lactación. Para alcanzar este objetivo es necesario que la vaca tenga un consumo de materia seca apropiado después del parto; sin embargo, tres semanas antes del parto la vaca disminuye su consumo hasta 30 por ciento, por lo cual es necesario establecer un manejo eficaz para promover un consumo alto de materia seca durante la parte final del periodo seco y durante las primeras tres semanas posparto (periodo de transición: tres semanas antes y tres después del parto).

La falta de capacidad para consumir los requerimientos de materia seca, después del parto, obliga a la vaca a movilizar sus reservas grasas. Prácticamente todas las vacas después del parto movilizan sus reservas de grasa y pierden condición corporal. La movilización de grasa corporal provoca degeneración grasa del hígado y ésta es responsable de alteraciones metabólicas y del retraso de la actividad ovárica posparto. El grado de degeneración grasa está relacionado con la magnitud de la movilización de grasa corporal, lo cual depende directamente de la capacidad de consumo de materia seca. De esta manera, las vacas con un consumo alto de materia seca en el periodo posparto, movilizan menos grasa y, por lo tanto, el daño hepático es menor.

El periodo seco se divide en dos partes, la primera comprende desde el secado hasta dos semanas previas al parto; la segunda parte incluye las dos últimas semanas de gestación y se le conoce como periodo de reto.

El periodo de reto es determinante para el desempeño productivo y reproductivo. Durante este periodo, se debe ofrecer una dieta similar en ingredientes y forma, a la dieta que tendrán después del parto. Para facilitar este manejo, las vacas de este grupo deben estar separadas del resto de las vacas secas.



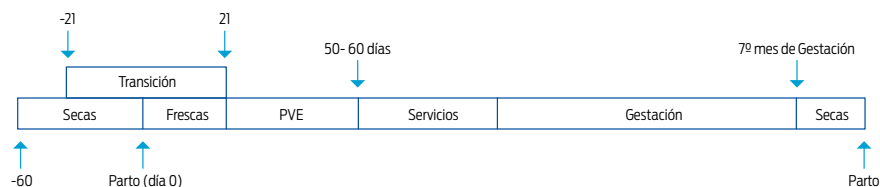


FIGURA III-8. Etapas fisiológicas y reproductivas de la vaca lechera. Periodo voluntario de espera (PVE).

Durante el periodo seco se debe poner atención especial para que las vacas no alcancen calificaciones de condición corporal mayores de 3.5, ya que el exceso de grasa ocasiona problemas metabólicos durante el puerperio, los cuales afectan negativamente la involución uterina y el inicio de la actividad ovárica posparto (FIGURA III-8)

3.9 El periodo de transición

El periodo de transición en la vaca lechera comprende tres semanas antes y tres después del parto (también conocido como periparto). En los últimos años, este tema ha merecido mucha investigación, pues lo que se haga bien o mal durante el mismo, repercutirá en la eficiencia reproductiva y en la producción de leche. Durante el periodo de transición la glándula mamaria se prepara para la lactogénesis, el feto crece significativamente, se suprime la respuesta inmune y el consumo de materia seca decrece; además, el rumen debe adaptarse a la dieta que reciben las vacas frescas (primeras tres semanas posparto), dieta caracterizada por el alto contenido de energía en forma de grano.

Muchos trastornos que se presentan en las primeras dos semanas posparto (hipocalcemia clínica y subclínica, cetosis, retención placentaria, prolapso uterino, metritis, mastitis, desplazamiento de abomaso), como aquellos que se presentan tiempo después (laminitis, quistes ováricos, endometritis y anestro) tienen su origen en los errores cometidos durante el periodo de transición. En gran parte los problemas están relacionados con la disminución del consumo de materia seca durante el periodo de transición; de manera que, el consumo decrece alrededor de 30 por ciento durante las últimas tres semanas de gestación, pero la mayor parte de la reducción ocurre cinco a siete días antes del parto. El manejo moderno del periodo



FIGURA III-9. Vacas en el corral de reto. Se recomienda separar a las vaquillas de las vacas, tener suficiente espacio de comedero y la dieta debe estar disponible las 24 horas del día



FIGURAS III-10. El desempeño productivo y reproductivo de las vacas depende en gran parte de la condición corporal, al momento del parto. En esta fotografía se muestran vacas recién paridas, con una condición corporal ideal (3.5).

de transición ha estado orientado a mantener la normocalcemia, fortalecer el sistema inmune, adaptar el rumen a una dieta alta en energía e incrementar el consumo de materia seca. Algunas recomendaciones generales de manejo durante el periodo de transición son: separar a las vaquillas de las vacas, tener para todos los animales suficiente espacio de comedero, contar con las mismas características que tienen los comederos de las vacas frescas y la dieta debe estar disponible las 24 horas del día (FIGURAS III-9, III-10).

3.10 Numeralia

- Alrededor de 5 mil millones de espermatozoides se depositan en los genitales de la vaca durante la cópula.

- De seis a ocho horas deben permanecer los espermatozoides en la región del istmo y la unión útero-tubárica antes de la ovulación para obtener una tasa de fertilización alta.
- La viabilidad de los espermatozoides en el útero es de 24 hasta 48 horas.
- La polispermia se bloquea eficazmente dentro de las primeras 10 horas después de la ovulación.
- Los blastómeros de los embriones de dos, cuatro y ocho células son pluripotentes.
- La eclosión del embrión ocurre en el día ocho.
- El tiempo que le toma al embrión llegar al útero es de tres a cuatro días.
- Entre los días 16 a 18 del ciclo el embrión produce interferón τ , para bloquear la secreción de la PGF2 α .
- Entre los días 17 al 18 el embrión se fija al endometrio.
- La medición de progesterona entre los días 20 a 24 posinseminación tiene un 100 por ciento de precisión para identificar a las vacas no gestantes.
- La vaca debe alcanzar su pico de lactación entre las cinco y seis semanas posparto.
- Por cada kg de leche que se incrementa en el pico de lactación, se logra un aumento de 120 kg en la lactación de 305 días.
- Tres semanas antes del parto la vaca disminuye su consumo hasta 30 por ciento.
- El periodo de transición comprende tres semanas antes y tres después del parto.
- Las vacas al parto no deben tener más de 3.5 puntos de condición corporal.
- La proporción de vacas secas debe ser de 15 por ciento (12.5 por ciento vacas secas y 2.5 por ciento de vaquillas).

3.11 Literatura recomendada

- Galina CS y Valencia MJ, editores. Reproducción de los animales domésticos. 3a ed. México (DF): Limusa, 2008.
- Joel Hernández Cerón y Jesús Zavala Rayas, Editores. Reproducción bovina. División Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. Universidad Nacional Autónoma de México 2007. 1ra ed. México, D.F.

- Senger PL. Pathways to pregnancy and parturition. 2nd ed. Ephrata, PA. Current Conceptions, Inc., 2003.
- LeBlanc S. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. J Reprod Dev. 2010; 56 Suppl:29-35.
- Sartori R, Bastos MR, Wiltbank MC. Factors affecting fertilisation and early embryo quality in single- and superovulated dairy cattle. Reprod Fertil Dev 2010;22:151-8.



CUATRO. PUERPERIO

El puerperio se define como el periodo comprendido entre el parto y la presentación del primer estro fértil. Durante el puerperio ocurren dos procesos: la involución uterina y el inicio de actividad ovárica posparto. En la vaca lechera, la atención médica del puerperio es fundamental en los programas de manejo, ya que durante este periodo se diagnostican y tratan patologías uterinas con el propósito de que la vaca esté en condiciones óptimas para ser inseminada, una vez que termina el periodo voluntario de espera.

4.1 Involución uterina

El útero después del parto sufre modificaciones macroscópicas y microscópicas, hasta alcanzar las características de un útero no gestante, lo cual lleva de 30 a 45 días. Su peso y tamaño posparto disminuyen rápidamente como consecuencia de la atrofia de las fibras musculares; por necrosis de las carúnculas y por eliminación de líquidos. Al mismo tiempo que el útero reduce su tamaño, el endometrio sufre un proceso regenerativo para estar en condiciones de albergar una nueva gestación.

La involución es favorecida por las contracciones uterinas, las cuales facilitan la eliminación de fluidos y desechos, y reducen el tamaño del útero. Las contracciones son provocadas por la secreción continua de $\text{PGF2}\alpha$, de origen uterino y por la oxitocina secretada durante el amamantamiento. La $\text{PGF2}\alpha$ se secreta durante las tres primeras semanas posparto y se considera que su participación es necesaria para que la involución uterina ocurra normalmente.

Durante la involución uterina se eliminan por la vagina secreciones conocidas como loquios, las cuales están formadas por restos de membranas, carúnculas, fluidos fetales y sangre. Estas secreciones varían de color rojo a café, tienen consistencia viscosa y son inodoras. La mayor parte de los loquios se desecha durante los primeros



FIGURA IV-1. El útero después del parto sufre modificaciones macroscópicas y microscópicas, hasta alcanzar las características de un útero no gestante, lo cual lleva de 30 a 45 días.

15 días posparto y después prácticamente desaparecen, excepto en casos de involución uterina anormal cuando el útero continúa eliminando fluidos de consistencia, color y olor diferentes (FIGURA IV-1).

Antes del parto el útero es estéril, ya que está protegido de la contaminación bacteriana por el cérvix. Durante y después del parto, esta barrera física desaparece y el útero es invadido por bacterias que se encuentran en el ambiente, piel y heces, o bacterias que se introducen durante la asistencia del parto. Además, la capacidad funcional de los fagocitos uterinos es baja después del parto, lo cual contribuye con el establecimiento de las infecciones. Alrededor de 95 por ciento de las vacas desarrollan infecciones uterinas durante la involución y un alto porcentaje de las vacas las eliminan mediante mecanismos naturales.

Los mecanismos uterinos de defensa están constituidos por las barreras anatómicas (vagina, vulva, y cérvix); factores fisiológicos (producción de moco en la vagina y cérvix); fagocitosis promovida por los neutrófilos, los cuales migran de la circulación general al útero; por la producción de sustancias inespecíficas, que inhiben el crecimiento bacteriano y favorecen la eliminación de los microorganismos. La capacidad para eliminar bacterias del útero está determinada por las hormonas ováricas (progesterona y estrógenos); durante el diestro la progesterona reduce la migración de neutrófilos, suprime al sistema inmunocompetente, cierra el cérvix y ocasiona atonía uterina, lo que resulta en una mayor susceptibilidad a las infecciones. Por el contrario, durante la fase folicular del ciclo estral (proestro y estro), el estradiol promueve la migración de neutrófilos, abre el cérvix y aumenta el

tono uterino, lo que facilita la eliminación de los agentes infecciosos. Además, la actividad de los neutrófilos es afectada por deficiencias de antioxidantes y por la profundidad del balance energético negativo.

4.2 Anormalidades del puerperio

Después del parto se presentan algunas patologías que retrasan la involución uterina y, por consiguiente, afectan el intervalo del parto al primer servicio.

4.2.1 Retención de la placenta

La placenta se elimina durante las 12 horas siguientes al parto, la retención de la placenta por más de 24 horas se considera una patología. La retención placentaria (RP) es una alteración frecuente del puerperio, la cual debe ser considerada como un signo clínico de diversas condiciones que pueden tener su origen en problemas de tipo infeccioso (abortos), metabólico (hipocalcemia, cetosis, síndrome de la vaca gorda), deficiencias nutrimentales (selenio y vitamina E) y errores de manejo (demasiada intervención en los partos).

La incidencia de RP varía de 5 a 15 por ciento y depende, en gran parte, del estado de salud y manejo del hato. La RP es el principal factor de riesgo de las infecciones uterinas (metritis puerperal, metritis, endometritis y endometritis subclínica); también ocasiona un retraso del periodo del parto a la concepción y se asocia con una reducción del porcentaje de concepción en el primer servicio.

En términos económicos, se ha determinado que la RP ocasiona importantes pérdidas debido principalmente a los costos de los servicios médicos, incremento de la tasa de eliminación y disminución de la fertilidad. Además, las vacas con retención placentaria producen 355 kg menos de leche durante los primeros 60 días, que las vacas que no presentan esta patología (FIGURA IV-2, IV-3).

4.2.2 Patogenia

La placenta está unida al endometrio mediante las vellosidades coriónicas, las cuales se fijan a las carúnculas (unión carúncula-cotiledón). La unión entre estas estructuras es favorecida por un fluido adhesivo formado por colágena y otras proteínas. Antes y durante el parto, se observa un incremento de la actividad de las enzimas proteolíticas (colagenasa, tal vez la más importante), las cuales se



FIGURA IV-2. Vaca con retención placentaria. En los hatos comerciales de 5 a 15 por ciento de las vacas retienen la placenta.



FIGURA IV-3. Vaca con retención placentaria.

encargan de separar el cotiledón de la carúncula. Posteriormente, la placenta es eliminada mecánicamente por las contracciones uterinas después de la expulsión del feto.

La etiología y patogénia 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.



FIGURA IV-4. La placenta no se debe remover introduciendo la mano por la vagina. Es recomendable esperar a que ocurra su autólisis (48 horas) y retirarla mediante tracción leve.

4.2.3 Tratamiento

Existen diversos tratamientos como la remoción manual de la placenta en combinación con la aplicación local de antibióticos (infusiones intrauterinas) y la administración de productos hormonales (oxitócicos y PGF 2α). La eficacia de estos tratamientos es discutible.

La remoción manual de la placenta es el tratamiento más popular; sin embargo, no es el mejor, ya que ocasiona daños en el endometrio, que van desde ligeras hemorragias a hematomas, aun cuando no haya evidencias externas. Además, la remoción manual disminuye la capacidad fagocitaria de los leucocitos uterinos, lo que resulta en una metritis más severa, mayor retraso de la involución uterina y un bajo desempeño reproductivo.

Otro tratamiento consiste en cortar la placenta a nivel de la vulva. Posteriormente cuando la placenta se ha separado de las carúnculas, debido al proceso de descomposición del tejido, una ligera tracción por la vulva es suficiente para retirarla, sin consecuencias. Estas vacas deben vigilarse por si presentan fiebre, y deben integrarse inmediatamente al programa de revisiones posparto, ya que seguramente desarrollarán metritis o endometritis. La administración de antibióticos, tanto en los casos de remoción manual como en aquellos en los que se corta la placenta, depende del estado general de la vaca. Se debe tener siempre en mente que la RP es el principal factor de riesgo de metritis, por lo que las vacas deben ser observadas para detectar oportunamente a aquellas que presenten fiebre. También se

debe considerar que los antibióticos inhiben la putrefacción de las membranas fetales, lo que puede retrasar su expulsión. En caso de optar por la administración de antibióticos, se debe elegir la vía parenteral en vez de la intrauterina, ya que esta última provoca irritación del endometrio, lo cual se asocia con baja fertilidad (FIGURA IV-4).

Otros tratamientos se basan en la administración de hormonas que estimulan la movilidad uterina (oxitocina, estrógenos y PGF2 α); sin embargo, no hay evidencias clínicas en las que se demuestre su eficacia; además, la causa menos frecuente de la RP es la incapacidad mecánica del útero para expulsar la placenta.

4.2.4 Prevención

Las estrategias de prevención de esta patología deben estar orientadas a disminuir la influencia de los factores de riesgo de la RP. Así, se debe disminuir la incidencia de abortos mediante programas eficaces de vacunación y bioseguridad; evitar periodos secos muy largos para que las vacas no lleguen obesas al parto; intervenir lo menos posible en los partos, y si se asiste, se debe hacer con estrictas medidas de higiene; ofrecer sales minerales de buena calidad y administrar antioxidantes antes del parto (vitamina E, selenio y beta carotenos; CUADRO IV-1).

Cuadro IV-1. Incidencia de retención de membranas fetales (RMF), metritis hemorrágica (MH), metritis purulenta (MP) y puerperio anormal (PA) en vacas lecheras tratadas con selenio y vitamina E los días 60, 21 preparto y 30, 90 posparto (grupo pre-parto) y 21 días preparto (grupo preparto) y testigos

GRUPOS	n	RMF	MH	MP	PA
		%	%	%	%
Pre-posparto	122	6 ^b	8 ^a	24 ^b	27 ^b
Preparto	117	13 ^{ab}	12 ^a	33 ^{ab}	40 ^a
Testigo	114	20 ^a	9 ^a	34 ^a	45 ^a

Literales diferentes en la misma columna indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

Ruiz *et al.*, 2008.



FIGURA IV-5. Vaca con metritis puerperal; las vacas afectadas muestran signos de enfermedad sistémica.

4.3 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 por ciento 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*), *Fusobacterium necrophorum* y *Escherichia coli*. Estas tres bacterias actúan sinérgicamente.

4.3.1 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 presencia de secreciones abundantes en el lumen uterino de color rojo o café, acuosas, fétidas y retraso en la involución. Las vacas afectadas muestran signos de enfermedad sistémica (toxemia y fiebre >39.5 °C) y disminución de la producción de leche (FIGURA IV-5).

4.3.2 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



FIGURA IV-6. Vaca con exudado mucopurulento. En la práctica es difícil establecer un diagnóstico diferencial entre endometritis y metritis. Una vaca con esta secreción puede ser tratada con cefalosporinas por vía intrauterina o, si ya está ciclando, es eficaz la administración de PGF 2α .

en la involución uterina y secreciones purulentas, y no hay signos de enfermedad sistémica (FIGURA IV-6).

4.3.3 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 eliminación de exudado purulento o mucopurulento. Puede presentarse en los primeros 21 días posparto o más, sin presentar ninguna afectación en el estado general.

4.3.4 Endometritis subclínica

Se presenta entre los 21 a los 40 días posparto, no hay signos externos y sólo se diagnostica mediante citologías uterinas. Esta condición afecta entre el 20 y 30 por ciento de las vacas. Los factores de riesgo identificados son la retención placentaria y metritis.

4.4 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 llegan a 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



FIGURA IV-7. El diagnóstico de las infecciones uterinas se puede establecer mediante la introducción de la mano por vía vaginal, previa limpieza de la región.



FIGURA IV-8. Otra forma de diagnosticar las infecciones uterinas es mediante la introducción de un instrumento que tiene en el extremo una campana atraumática, que permite la recolección de las secreciones uterinas (Metricheck).

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 vaginoscopia, 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 IV-7; FIGURA IV-8).

4.5 Impacto de las infecciones uterinas en la reproducción y producción

Las infecciones uterinas (metritis y endometritis) alargan el periodo del parto a la concepción; disminuyen el porcentaje de concepción

al primer servicio; aumenta el porcentaje de desechos; disminuyen la tasa de vacas inseminadas y disminuyen la producción (300 kg menos que las vacas no afectadas). Además, alargan el periodo del parto a la primera ovulación; en las vacas con puerperio anormal los folículos dominantes son de menor diámetro y producen menos estradiol que las vacas sanas. También una menor proporción de los folículos de la primera oleada ovula en comparación con las vacas con puerperio normal.

La endometritis subclínica disminuye el porcentaje de concepción en el primer servicio y aumenta los días abiertos. Asimismo, la metritis o endometritis pueden afectar a los oviductos y provocar inflamación, obstrucción y adherencias (este proceso es más frecuente en las vacas que reciben inyecciones de estrógenos).

4.6 Tratamientos

Para evitar el efecto negativo de las infecciones uterinas en la eficiencia reproductiva es necesario el diagnóstico y tratamiento oportunos. Existen diferentes tratamientos para la metritis o endometritis, tales como el uso de antibióticos por vía sistémica o intrauterina, infusiones intrauterinas de sustancias antisépticas, y la administración de hormonas.

4.6.1 Antibióticos

Los tratamientos intrauterinos con antibióticos se han utilizado durante muchos años y son una opción, siempre y cuando se consideren ciertos aspectos: 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 extraordinariamente 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.



FIGURA IV-9. Las infusiones de oxitetraciclina ocasionan irritación del endometrio y disminuyen la 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*, la 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 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 (FIGURA IV-9).

En pruebas de campo, la administración de una sola infusión intrauterina de cefapirina benzatínica, en vacas con endometritis entre los días 15 a 20 posparto, produce una mayor tasa de recuperación y no afecta la fertilidad, en comparación con las que fueron tratadas con infusiones de oxitetraciclina.

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 con-

siderar algunos factores: las características de las secreciones uterinas, los días posparto, el inicio de la actividad ovárica, la presencia de fiebre y la condición corporal.

4.6.2 Tratamiento con infusiones de sustancias antisépticas

También se utilizan tratamientos basados en la administración por vía intrauterina de sustancias antisépticas. El tratamiento más frecuente consiste en la infusión de soluciones de yodo; sin embargo, los resultados con esta terapia no son positivos y además se asocia con una disminución de la fertilidad subsiguiente. Se debe ser prudente en la utilización de sustancias antisépticas por vía intrauterina, ya que todas ellas provocan irritación, afectan los mecanismos de defensa del útero y en algunos casos llegan a provocar necrosis del endometrio.

4.6.3 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 PGF_{2α} 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 PGF_{2α} está correlacionada negativamente con el tiempo de involución uterina; de esta manera entre más duren los niveles altos de PGF_{2α} el tiempo de la involución uterina es menor. Además, la administración de PGF_{2α} cada 12 horas del día 3 al 10 posparto acorta el periodo de la involución uterina. Por el contrario, en las vacas con puerperio anormal se ha observado una correlación positiva entre las concentraciones de la PGF_{2α} y el tiempo de involución uterina; de esta manera, las vacas con retención placentaria o endometritis tienen niveles más altos de PGF_{2α}.

Algunas evidencias involucran a la PGF_{2α}, como parte del mecanismo de eliminación de la placenta; es decir, se ha observado que

las vacas que eliminaron normalmente la placenta tuvieron mayores concentraciones de PGF_{2α} en los placentomas, en comparación con las vacas con retención placentaria. Se ha propuesto que el fracaso del proceso que conduce a la separación del cotiledón de la carúncula está asociado con una alteración en el metabolismo de las prostaglandinas dando como resultado una disminución de la PGF_{2α} y un aumento de PGE₂. Por otra parte, la inhibición de la síntesis de PGF_{2α} después del parto, mediante la inyección de ácido acético salicílico (aspirina), ocasiona retención de la placenta. Estos conocimientos han motivado estudios en los cuales se ha evaluado el tratamiento con la PGF_{2α} después del parto, para prevenir la retención placentaria o reducir el tiempo de involución en vacas con retención placentaria o metritis. Un tratamiento preventivo de retención placentaria consiste en la inyección de PGF_{2α} (500 µg de Cloprostenol sódico) en las primeras 12 horas posparto y una segunda inyección 48 horas después. Este tratamiento ha sido validado en dos hatos lecheros de manejo intensivo y actualmente se está investigando su mecanismo de acción.

En la práctica, se utiliza un programa basado en la administración sistemática de PGF_{2α} a todas las vacas cada 14 días a partir del día 25 a 30 posparto. Este tratamiento se basa en el acortamiento de las fases lúteas, lo cual favorece la eliminación de las infecciones. 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 PGF_{2α}, cada 14 días, acorta el ciclo estral y disminuye el riesgo de persistencia de infecciones uterinas. Además, la inyección sistemática de PGF_{2α}, cada 14 días a partir del día 25 posparto, aumenta la proporción de vacas inseminadas, lo que incrementa la tasa de preñez.

4.7 Piometra

Esta patología se desarrolla en las vacas que ovulan en los primeros 20 días posparto y concomitantemente 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 PGF_{2α}, lo que resulta en persistencia del cuerpo lúteo, y anestro. Las vacas con piometra responden muy bien



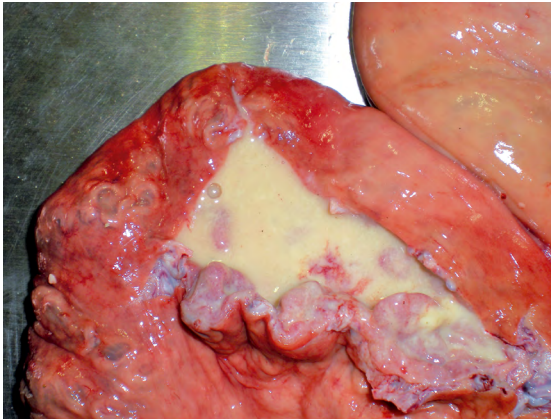


FIGURA IV-10. La piometra se caracteriza por acumulación de exudado purulento en el útero, cervix cerrado y presencia de un cuerpo lúteo. El diagnóstico se establece mediante palpación rectal y se trata con PGF2 α

al tratamiento con PGF2 α ; una segunda inyección de esta hormona, 14 días después, acorta el periodo de recuperación (FIGURA IV-10).

4.8 Vaginitis en hembras gestantes

La vaginitis en hembras gestantes se presenta con baja frecuencia; sin embargo, cuando hay algún caso provoca alarma porque se confunde con un aborto. En estos casos, el veterinario debe hacer una revisión por vía rectal para determinar si el producto está vivo y si el cervix está abierto. El diagnóstico se completa con la revisión por vía vaginal mediante un vaginoscopio o directamente con la mano con un guante limpio.

En el caso de un aborto, el producto generalmente está muerto y el cervix está abierto; en estos casos el producto debe ser extraído. Por el contrario, si el cervix está cerrado y el feto vivo, no hay de que preocuparse, el pronóstico es favorable y el problema cede con un tratamiento con antibióticos por vía sistémica.

4.9 Numeralia

- El útero después del parto pesa 13 kg y el día 21 posparto, 1kg
- La regeneración del epitelio uterino toma 25 días
- La regeneración de las capas profundas del endometrio toma de 42 a 56 días
- Noventa y cinco por ciento de las vacas desarrollan alguna infección uterina

- Treinta a 50 por ciento de las vacas desarrolla metritis dentro de las primeras dos semanas posparto
- Quince a 20 por ciento persisten como endometritis clínica >3 semanas posparto
- Dieciocho a 20 por ciento padecen metritis con efectos sistémicos
- Veinte a 30 por ciento de las vacas padecen endometritis subclínica
- Cinco a 15 por ciento de las vacas retienen la placenta
- Se pierden 355 kg de leche en las vacas con retención placentaria
- En las vacas que padecen puerperio anormal se reduce 10 por ciento la proporción de vacas gestantes en el día 90 posparto
- En Reino Unido se pierden 192 euros por cada vaca que tiene puerperio anormal

4.10 Literatura recomendada

- Joel Hernández Cerón y Jesús Zavala Rayas, Editores. Reproducción bovina. División Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. Universidad Nacional Autónoma de México 2007. 1ra ed. México, D.F.
- LeBlanc SJ, Duffield TF, Leslie KE, Bateman KG, Keefe GP, Walton JS, Johnson WH. Defining and diagnosing postpartum clinical endometritis and its impact on reproductive performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 2002;85, 2223–2236.
- LeBlanc SJ, Duffield TF, Leslie KE, Bateman KG, Keefe GP, Walton JS, Johnson WH. The effect of treatment of clinical endometritis on reproductive performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 2002;85, 2237–2249.
- Risco CA, Youngquist RS, Shore MD. Postpartum uterine infections. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. *Large Animal Theriogenology 2*. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:339-344.
- Sheldon IM, Noakes DE, Rycroft AN, Pfeiffer DU, Dobson H. Influence of uterine bacterial contamination after parturition on ovarian dominant follicle selection and follicle growth and function in cattle. *Reproduction* 2002;123, 837–845.
- Sheldon IM, Williams EJ, Miller ANA, Nash DM, Herath S. Uterine diseases in cattle after parturition. *Vet J* 2008; 176 115–121.
- Sheldon IM, Price SB, Cronin J, Gilbert RO, Gadsby JE. Mechanisms of infertility associated with clinical and subclini-

cal endometritis in high producing dairy cattle. *Reprod Domest Anim* 2009;44 Suppl 3:1-9.

- Tixi C, Hernández J, Posadas C, Villa Godoy A. Factores que afectan el porcentaje de vacas gestantes en el día 90 post parto en vacas Holstein. *Memorias del Congreso Nacional de Buiatría, Tuxtla Gutiérrez, Chis. 2009.*

CINCO. ANESTRO

El anestro posparto es el periodo después del parto en el cual la hembra no muestra ciclos estrales (actividad cíclica). 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 antes y después del parto, y por condiciones patológicas.

5.1 Control neuroendocrino

Entre los días 12 al 15 posparto comienza a secretarse la FSH, lo que estimula la primera oleada folicular; sin embargo, ningún folículo dominante llega a terminar su desarrollo debido a la carencia del estímulo apropiado de la LH. En las primeras semanas posparto (primeros 15 días), las concentraciones circulantes de LH son bajas, lo cual obedece a la ausencia de reservas de LH y a la incapacidad temporal de la hipófisis para responder al estímulo de la GnRH. Entre los días 15 al 20 posparto, la hipófisis aumenta su capacidad para responder a la GnRH; sin embargo, el establecimiento del patrón de secreción de LH adecuado para estimular la maduración y la ovulación del folículo dominante de las primeras oleadas foliculares depende fundamentalmente del balance energético.

5.2 Factores que determinan el inicio de la actividad ovárica posparto

En la vaca lechera es frecuente que alguno de los primeros folículos dominantes que se desarrollan durante las primeras dos o tres semanas termine su maduración y ovule. El factor limitante para el reinicio de la actividad ovárica es el balance energético negativo (BEN). En el ganado lechero, el consumo de materia seca, después del parto, se debe incrementar hasta cuatro veces, para cubrir la demanda de

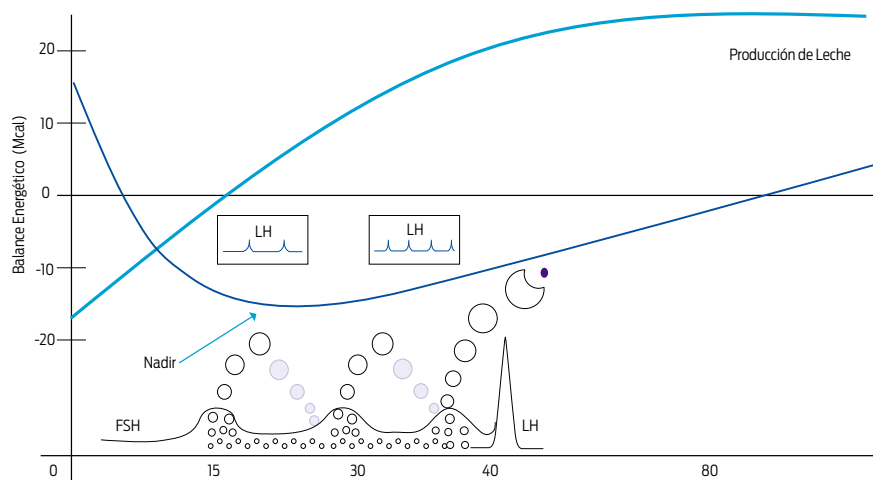


FIGURA V-1. Las vacas llegan a su punto más bajo de balance energético (nadir) entre los días 10 y 20 posparto, y siguen en balance negativo aproximadamente hasta el día 70 al 80 y en algunos casos hasta el día 100 posparto. En los primeros 20 días posparto se observan ondas foliculares; sin embargo, ningún folículo termina su maduración debido a que se carece de un patrón adecuado de secreción de LH. Una vez que el balance energético cambia de dirección, aumenta la frecuencia de LH, lo cual conduce a la maduración del folículo y a la primera ovulación posparto.

nutrimentos para la producción de leche y mantenimiento; sin embargo, la vaca es incapaz de consumir el requerimiento de materia seca por lo cual recurre a sus reservas de grasa y proteína, y caen en BEN. Las vacas que consumen menos materia seca, producen menos leche, tienen un BEN más profundo y el periodo del parto a la primera ovulación es mayor.

El nivel más bajo del BEN (nadir) lo alcanzan entre los días 10 y 20 posparto y siguen en BEN hasta los días 70 al 80, y en algunos casos hasta el día 100 posparto (vacas de primer parto). No obstante el BEN, una alta proporción de las vacas inician su actividad ovárica en las primeras ocho semanas posparto. Las vacas que llegan rápido al nadir del BEN y se alejan de este punto, inician su actividad ovárica más rápido (20 a 30 días posparto) que aquellas que tienen un BEN más profundo y duradero, las cuales es frecuente que sigan en anestro en el día 70 posparto (FIGURA V-1).

Los cambios en la condición corporal están correlacionados positivamente con las concentraciones séricas de insulina, IGF-I y

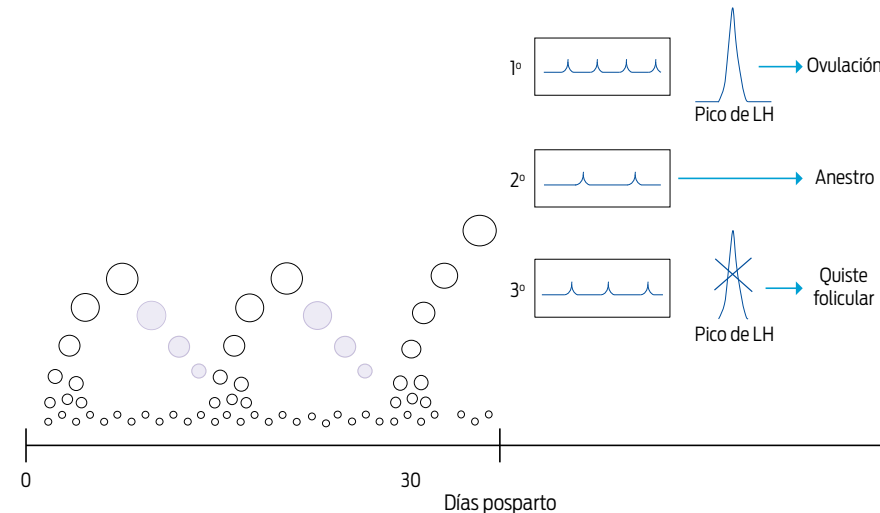


FIGURA V-2. En las primeras semanas posparto inician las oleadas foliculares y en cada oleada se desarrolla un folículo dominante, el cual tiene tres destinos: 1. Puede madurar, ovular y formar un cuerpo lúteo; 2. Nunca llega a madurar por carencia de un estímulo apropiado de LH y la vaca continúa en anestro; 3. Madura pero no ocurre el pico preovulatorio de LH y se forma un quiste folicular.

leptina; así, a mayor calificación de la condición corporal es mayor la concentración sérica de dichas hormonas, las cuales actúan principalmente como señales que llegan al hipotálamo y modifican la frecuencia de secreción de la GnRH, y en consecuencia de LH. La leptina es una hormona que se produce en los adipocitos y se ha propuesto que es la señal más importante de los cambios de condición corporal. La transición del anestro a la ciclicidad coincide con un incremento de las concentraciones séricas de insulina, IGF-I y leptina.

Además de los mensajes dados por las hormonas mencionadas, otras sustancias presentes en la sangre aportan información del estado metabólico. Por ejemplo, los ácidos grasos no esterificados y el β -hidroxibutirato son indicadores de la movilización y uso de la grasa corporal; así, el aumento de estas sustancias proporciona un mensaje inhibitorio de la reproducción.

El intervalo promedio entre el parto y la primera ovulación, en ganado lechero en sistemas de producción no intensiva, es alrededor de 30 días; mientras que en vacas en sistemas de producción intensi-

va, es de 40 días. Cabe señalar que es común encontrar que en el día 70 posparto, 20 por ciento de las vacas todavía no ha ovulado.

Con frecuencia se observa que las vacas lecheras desarrollan folículos que crecen más que los folículos ovulatorios, los cuales se convierten en quistes foliculares. Esta condición se asocia con insensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación positiva del estradiol, lo cual no desencadena el pico preovulatorio de LH (FIGURA V-2).

5.3 El cuerpo lúteo de los primeros ciclos posparto

Durante un ciclo estral el cuerpo lúteo tiene una vida media fisiológica de 12 a 14 días; sin embargo, en la primera ovulación posparto alrededor de 25 por ciento de las vacas desarrollan cuerpos lúteos de vida corta (<10 días), 30 por ciento de vida larga (21 a 50 días) y 45 por ciento de vida normal (11 a 20 días).

La regresión prematura del cuerpo lúteo es una condición frecuente en los rumiantes en el primer ciclo estral, de la transición del anestro a la ciclicidad. Es decir, en la vaca es frecuente, que en el primer ciclo estral posparto y de la pubertad sean ciclos cortos; esto se debe a la liberación anticipada de la PGF2α. Por otra parte, la causa de los cuerpos lúteos de vida larga (cuerpos lúteos persistentes) no es clara, pero se relaciona con alteraciones en la secreción de la PGF2α debido a infecciones uterinas (CUADRO V-1).

Cuadro V-1.

Duración de la primera fase lútea en vacas lecheras determinada mediante las concentraciones séricas de progesterona

Fases lúteas	Duración (días)	Número	Porcentaje
Normales	11-20	15	45
Cortas	<10	8	24
Largas	21-52	10	30
Total		33	100

Hernández Cerón, (2007)



FIGURA V-3. Quistes foliculares en una vaca lechera. Un quiste folicular es un folículo, de al menos 20 mm de diámetro, el cual está presente en uno o en ambos ovarios en la ausencia de tejido lúteo y que interfiere con el ciclo estral normal.

5.4 Anestro patológico

5.4.1 Alteraciones del aparato genital que causan anestro

En la vaca se ha calculado que las alteraciones del aparato genital que afectan la actividad ovárica, representan sólo 10 por ciento del total de las causas de anestro. Entre las alteraciones del aparato genital se encuentran los quistes foliculares, quistes luteinizados, aplasia segmentaria, piometra y momificación fetal.

5.4.2 Quistes foliculares

Los quistes foliculares es la patología ovárica más frecuente en el ganado bovino lechero, provocando pérdidas económicas, debido al retraso del periodo del parto al primer servicio, por el costo de los tratamientos y por el riesgo que tienen las vacas de ser desechadas. La incidencia ha aumentado conforme se ha intensificado la producción de leche. Entre 5 y 30 por ciento de las vacas desarrollan quistes foliculares en los primeros 60 días posparto; sin embargo, cerca de 60 por ciento de ellas se recupera espontáneamente. Los signos clínicos de las vacas con quistes foliculares descritos en la literatura son: ninfomanía, ciclos cortos, masculinización y relajamiento de los ligamentos pélvicos. Sin embargo, actualmente una alta proporción de las vacas con quistes foliculares muestran anestro.

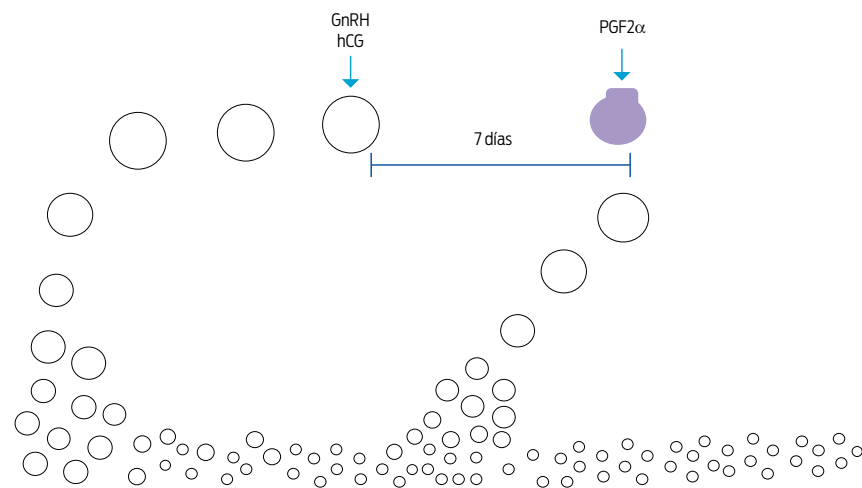


FIGURA V-4. Un tratamiento para las vacas con quistes foliculares consiste en la administración de la GnRH o hCG, la cual provoca la luteinización del quiste y la formación de un cuerpo lúteo. Es recomendable la combinación con una dosis luteolítica de PGF2α, siete días después.

Durante muchos años se definió un quiste folicular como un folículo de un diámetro de 2.5 mm, que está presente en uno o en ambos ovarios durante un mínimo de 10 días, en ausencia de un cuerpo lúteo. Los conocimientos actuales han modificado el concepto clásico; así, no todos los quistes foliculares tienen un diámetro de 2.5 mm; además, algunos pueden persistir más de 10 días. Otros son estructuras dinámicas, los cuales sufren regresión y pueden ser sustituidos por nuevos quistes. Por tal motivo, la definición más acertada de un quiste folicular es: folículo de un diámetro, de al menos 20 mm, el cual está presente en uno o en ambos ovarios en la ausencia de tejido lúteo y que interfiere con el ciclo estral normal (FIGURA V-3).

La patogénesis de los quistes foliculares no se conoce. Se propone que las vacas que desarrollan esta patología tienen una anomalía en los mecanismos de retroalimentación entre el hipotálamo y la hipófisis, en conjunción con una disfunción a nivel folicular. Se plantea que en las vacas con quistes foliculares, el pico preovulatorio de LH no ocurre o es de menor amplitud, o no tiene una relación sincrónica con la maduración del folículo, lo cual ocasiona la falla ovulatoria. La alteración en la secreción de LH puede obedecer a

falta de sensibilidad del hipotálamo a la retroalimentación positiva de los estrógenos. También se señala que algunas anomalías a nivel folicular, tales como alteraciones en la síntesis de hormonas esteroides y una menor sensibilidad a la LH, pueden contribuir con la patología. Una vez que se ha establecido el quiste folicular, se ha observado un incremento en la frecuencia de secreción pulsátil de LH, lo que contribuye con la persistencia de esta patología.

Existen factores asociados con la incidencia de los quistes foliculares, los cuales, de acuerdo con la patogenia propuesta, pueden influir a nivel del eje hipotálamo-hipófisis-ovario. Los quistes foliculares ocurren principalmente durante la transición del anestro postparto a la ciclicidad. En este periodo las vacas se encuentran en BEN y se ha observado que aquellas que padecen un BEN más profundo tienden a presentar una incidencia mayor de quistes foliculares. Por otra parte, hay una correlación positiva entre la producción de leche y la incidencia de quistes, lo que indica que las vacas que producen más leche tienen mayor riesgo de padecer esta patología. También existen otros factores relacionados con la incidencia de quistes foliculares tales como estrés, genéticos, infecciones uterinas, estrés calórico y presencia de fitoestrógenos en la dieta (CUADRO V-2).

El tratamiento indicado consiste en la administración de la GnRH, la cual provoca luteinización del quiste. Es recomendable la combinación con una dosis luteolítica de PGF2α, 7 a 10 días después de la inyección de GnRH. También está indicado el tratamiento con hCG en lugar de GnRH. En algunos estudios se ha logrado integrar a las vacas con quistes foliculares a los programas de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo, con resultados en fertilidad aceptables (FIGURA V-4).

Cuadro V-2.

Porcentaje de vacas gestantes en el día 90 posparto que presentaron quistes foliculares, y vacas sanas

Quistes	Vacas	Gestantes (%)
No	2436	39
Sí	219	11

Tixi *et al.*, 2009.

5.5 Anestro en relación con el momento del servicio

El anestro en el ganado bovino se ha clasificado también como anestro preservicio y postservicio.

5.5.1 Anestro preservicio

Incluye vacas y vaquillas que no han mostrado estro en el período en el que deben ser servidas. En algunos estudios se ha observado que el anestro antes del servicio puede afectar hasta 50 por ciento de las vacas elegibles para presentar estro.

5.5.2 Anestro postservicio

En este grupo se incluyen las vacas que no retornan en estro 21 días después de la inseminación y no están gestantes. A estas vacas se les ha llamado vacas fantasma (The Phantom Cow). La causa principal del retraso del retorno al estro es la baja eficiencia en la detección de estros; pero también se han descrito otras causas como: inseminación en un estro anovulatorio, inseminación a tiempo fijo en vacas en anestro, suspensión de la ciclicidad después del servicio, fases lúteas largas y muerte embrionaria.

El diagnóstico precoz de la gestación es de gran ayuda para conocer oportunamente qué animales no están gestantes. La ecografía en el día 30 posinseminación adelanta, al menos 10 días, la resincronización de las vacas vacías.

5.6 Falso anestro o anestro funcional

Este anestro causa las mayores pérdidas económicas de carácter reproductivo en hatos lecheros, y se refiere a las vacas que están ciclando, pero no son observadas en estro por los trabajadores.

5.7 Manejo de la vaca anéstrica

La probabilidad de que la vaca sea inseminada oportunamente depende de la eficiencia de la detección de estros. Es común que la mitad de las vacas muestren estro y no sean observadas, por tal razón, muchos animales no son inseminados una vez que termina el periodo voluntario de espera. Por otro lado, hay vacas que, por causas patológicas o por su estado metabólico, están en anestro aún después que termina el periodo voluntario de espera. Para identifi-

car las causas de la ausencia de estros, todas las vacas que no han sido inseminadas en el día 60 posparto, deben ser revisadas por vía rectal para aplicar el tratamiento o manejo pertinentes. Durante esta revisión se pone especial atención en las características del útero y en las estructuras ováricas, ya que de aquí depende el manejo subsiguiente. La palpación comienza en el útero; en éste es importante determinar si no hay gestación. Posteriormente, se evalúa su consistencia que puede ser normal, edematosa o turgente. Después de evaluar el útero se procede a palpar los ovarios, comenzando con el derecho y posteriormente el izquierdo. A continuación se describen los diferentes hallazgos que se pueden encontrar y su tratamiento o manejo. El registro de los hallazgos a la palpación se realiza mediante claves reproductivas.

UN DCL_{2 ó 3} IF₁₀

Útero normal (UN) con un cuerpo lúteo (CL) 2 o 3, y un folículo en el ovario izquierdo (IF) de 10 mm de diámetro. 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 2 o 3 es una estructura bien desarrollada que deforma el ovario y en algunos casos representa más de 50 por ciento de la masa ovárica. Clasificarlos como CL 2 o 3 es una apreciación subjetiva del tamaño del cuerpo lúteo y no tiene significado 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. Durante el diestro se pueden encontrar folículos de diferente tamaño en cualquiera de los dos ovarios, ya que esto depende de las oleadas de desarrollo folicular.

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 la PGF2 α , lo que resulta en la presentación del estro en las siguientes 48 a 120 horas.

La presencia de un cuerpo lúteo es el estado fisiológico que se encuentra con mayor frecuencia en este grupo de vacas, primero porque paradójicamente la mayor proporción de vacas en “anestro” está ciclando (anestro funcional) y en segundo lugar, porque el diestro ocupa 65 por ciento de los días del ciclo estral.



UE DCL₁IF₁₀₋₁₅

Útero edematoso con un cuerpo lúteo, 1 en el ovario derecho y un folículo de 10 o 15 mm de diámetro en el ovario izquierdo. El útero edematoso se puede encontrar en el proestro y metaestro. La presencia del CL1 y un folículo grande indica que se trata de una vaca que muy probablemente se encuentra en proestro. La diferencia entre un CL1 y un CL 2 o 3 es básicamente su tamaño; un CL1 es una estructura pequeña con consistencia dura. Las vacas que tienen estas características deben ser marcadas para que los trabajadores les pongan mayor atención, ya que presentarán el estro en las siguientes 48 a 72 horas. Si la vaca no muestra estro en ese periodo, se deberá palpar en la siguiente semana.

UT DE IF_{10 ó 15}

Útero turgente o con tono, ovario derecho estático y ovario izquierdo con un folículo de 10 o 15 mm de diámetro. Estos hallazgos, además de la presencia de moco cristalino, corresponden a una vaca en estro. Con frecuencia en la palpación de las vacas del grupo de anestro hay vacas en estro; estas vacas deberán ser programadas para inseminación.

UE DE IE

Útero con edema y ovarios estáticos. Estas observaciones corresponden a una vaca en metaestro; esta decisión tiene un alto margen de error ya que también puede corresponder a un animal en proestro o en anestro verdadero. Un hallazgo que permite ser más acertado en el diagnóstico es la presencia de sangre en el moco cervical; en este caso, la presencia de sangre indica con certeza que la vaca está en metaestro; sin embargo, no todas las vacas presentan este sangrado. Las vacas con estos hallazgos deben ser palpadas siete días después para confirmar o corregir un primer diagnóstico. Si la primera palpación fue correcta, en la segunda se encontrará un CL2-3.

UE DCH IF10

Útero con edema, ovario derecho con un cuerpo hemorrágico (CH) y ovario izquierdo con un folículo de 10 mm de diámetro. Estas observaciones son de una vaca en metaestro. El cuerpo hemorrágico se considera como la fase de transición entre el folículo y el cuerpo

lúteo; el CH se palpa como una estructura con una saliente en forma de papila y es muy suave al tacto. Será necesario esperar 4 o 5 días para que se convierta en un cuerpo lúteo maduro y así poder destruirlo con PGF2 α . En la rutina estas vacas se palpan en la siguiente revisión (siete días después).

UN DE IE

Útero normal y ovarios estáticos. 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 no funcionan si no se resuelve primero su estado nutricional.

UN DQF IE

Útero normal, quiste folicular en el ovario derecho y ovario izquierdo estático. Las vacas con quistes foliculares se caracterizan por presentar anestro. El tratamiento consiste en la administración de GnRH o hCG.

UN DQL IE

Útero normal, quiste luteinizado en el ovario derecho y ovario izquierdo estático. 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 diámetro de paredes gruesas. El tratamiento indicado es la administración de PGF2 α . 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 y siete días después se inyecta PGF2 α (FIGURA V-5).

Piómetra DCL_{2 ó 3} IF

La piómetra es una condición que se presenta principalmente en los primeros 30 días posparto; sin embargo, en la revisión de las vacas anéstricas se llegan a encontrar vacas con esta patología. El tratamiento indicado consiste en la administración de PGF2 α .



**FIGURA V-5.**

- 1) Ovarios de una vaca en metaestro (día tres del ciclo). En el ovario derecho se aprecia un cuerpo hemorrágico y en el izquierdo se observan folículos medianos.
- 2) Ovario con un cuerpo hemorrágico (día cuatro a cinco del ciclo estral). El cuerpo hemorrágico es de consistencia suave y en los primeros días, si se presiona, tiende a desaparecer dentro del estroma y al retirar la presión se siente nuevamente.
- 3) Ovarios de una vaca en diestro (días 6 al 17 del ciclo). En el ovario izquierdo se aprecian folículos medianos y en el ovario derecho hay un cuerpo lúteo, folículos medianos y un folículo grande.
- 4) Ovario con un cuerpo lúteo. Esta estructura es característica del diestro y puede tomar diversas formas; en esta foto se aprecia un cuerpo lúteo de la forma referida en los libros de texto con corona o papila que sale del estroma ovárico.
- 5) Ovario con un cuerpo lúteo. Como se puede apreciar en esta foto, el cuerpo lúteo sobresale del estroma ovárico.
- 6) Ovario con un cuerpo lúteo. En esta foto se aprecia el cuerpo lúteo que apenas sobresale del estroma ovárico. Estos cuerpos lúteos suelen confundirse con folículos.
- 7) Ovario con un folículo preovulatorio. Los folículos preovulatorios en la vaca miden entre 15 a 20 mm de diámetro y a la palpación se siente una estructura esférica de paredes delgadas y que cuando se presiona fluctúa. La palpación de esta estructura, conjuntamente con la presencia de turgencia uterina y presencia de moco cervical, indica que la vaca está en estro.
- 8) Ovarios estáticos o sin estructuras. Estos ovarios son grandes, aplanados y de consistencia dura.

5.8 Tratamientos hormonales para la inducción de actividad ovárica

El establecimiento temprano de la ciclicidad posparto favorece la involución uterina y está correlacionado positivamente con la fertilidad; es decir, entre más ciclos estrales tenga la vaca antes de la primera inseminación, el porcentaje de concepción es mayor.

Un tratamiento utilizado para inducir la primera ovulación posparto en vacas anéstricas, consiste en la administración de GnRH cuando a la palpación rectal se encuentra un folículo grande (> 10 mm). Con esto se pretende hacer ovular al folículo y después se inyecta PGF2 α para provocar la regresión lútea. Otras combinaciones consisten en la administración de GnRH y la inserción de dispositivos liberadores de progesterona, y al retirar el progestágeno se inyecta PGF2 α (FIGURA V-6). No obstante que los tratamientos mencionados son de uso común, no funcionan en todos los casos. Un requisito para que tengan éxito es que las vacas deben tener



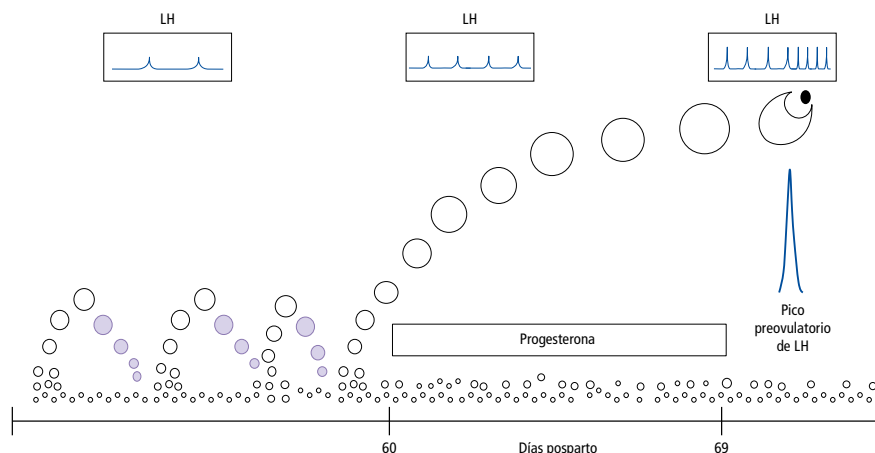


FIGURA V-6. En este esquema se muestra el mecanismo de acción de un tratamiento con progestágenos para inducir la actividad ovárica. Durante el anestro la LH tiene una frecuencia de secreción baja (un pulso cada cuatro a seis horas), lo que impide la maduración y ovulación del folículo dominante. Cuando recibe el implante de progesterona aumenta la frecuencia de secreción de LH (un pulso cada tres a cuatro horas), crece el folículo dominante y se convierte en un folículo dominante persistente; después de retirar el progestágeno, aumenta más la frecuencia de LH (de forma similar al proestro), el folículo termina su maduración, desencadena el pico preovulatorio de LH y ocurre la ovulación.

buena condición corporal o que estén ganando condición corporal. Aunque los tratamientos hormonales pueden ayudar en algunos casos, no se debe olvidar que las causas del anestro no se arreglan sólo con la administración de hormonas, ya que la vaca no cicla porque toda la información del estado metabólico que recibe el cerebro, le indica que no lo debe hacer.

5.9 La gonadotropina coriónica equina (eCG)

En la yegua, alrededor del día 30 de gestación, células de corion migran al endometrio y forman unas estructuras conocidas como copas endometriales. Entre el día 40 y el día 130 de gestación en estas estructuras se produce la eCG (antes conocida como gonadotropina sérica de la yegua preñada o PMSG, por su abreviatura en inglés). En la yegua esta hormona tiene actividad de LH por lo cual estimula la función del cuerpo lúteo y promueve la formación de cuerpos lúteos accesorios.

En los rumiantes, la eCG se une a los receptores de LH y FSH del folículo, estimulando el desarrollo folicular, y en el cuerpo lúteo estimula la secreción de progesterona. La eCG se ha utilizado para superovular y en vacas productoras de carne en anestro se incluye en los programas con progestágenos para inducir la ciclicidad. En estos programas se inyecta la eCG al momento de retirar el progestágeno, lo cual favorece el desarrollo folicular y la presentación del estro. En hatos lecheros de Nueva Zelanda se ha incrementado la tasa de preñez sin aumentar la proporción de partos gemelares, mediante la inyección de la eCG al retirar el dispositivo liberador de progesterona en programas combinados con la inyección de benzoato de estradiol.

5.10 Numeralia

- Transcurren 15 días después del parto para que la hipófisis responda a la GnRH.
- Entre el día 12 al 15 posparto se comienza a secretar la FSH e inician las oleadas foliculares.
- Las vacas llegan al nadir de su BEN entre los días 15 a 20 posparto.
- Las vacas inician su actividad ovárica en promedio en el día 40 posparto.
- En el día 70 posparto 20 por ciento de las vacas continúan en anestro.
- En la primera ovulación posparto 25 por ciento de las vacas desarrollan cuerpos lúteos de vida corta y 30 por ciento muestran cuerpos lúteos de vida larga (persistentes).
- Las anomalías del aparato reproductor son responsables de 10 por ciento de las causas de anestro.
- Cinco a 30 por ciento de las vacas desarrollan quistes foliculares en los primeros 60 días posparto y 60 por ciento de ellas se recupera en forma espontánea.
- En el día 30 posinseminación es posible identificar a las vacas vacías mediante ecografía para su sincronización.
- La proteína B específica de la gestación aparece en el suero a partir del día 15 de gestación.
- Para el diagnóstico precoz de la gestación se recomienda medir la PSPB en el día 30 posinseminación y en vacas de más de 90 días posparto.

- Entre los días 50 al 60 posparto todas las vacas sin servicio deben ser examinadas por vía rectal para programar su inseminación.

5.11 Literatura recomendada

- Garverick HA. Ovarian follicular cysts. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. Large animal theriogenology 2. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:379-383.
- Joel Hernández Cerón y Jesús Zavala Rayas, Editores. Reproducción bovina. División Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia. Universidad Nacional Autónoma de México 2007. 1ª ed. México, D.F.
- Peter AT, Vos PL, Ambrose DJ. Postpartum anestrus in dairy cattle. Theriogenology 2009, 71:1333-1342.
- Spain JN, Lucy Mc, Hardin DK. Effects of nutrition on reproduction in dairy cattle. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. Large animal theriogenology 2. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:442-450.
- Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Chapin LT, Fogwell RL. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 1988; 71:1063-1072.
- Wathes DC, Fenwick M, Cheng Z, Bourne N, Llewellyn S, Morris DG, Kenny D, Murphy J, Fitzpatrick R. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. Theriogenology. 2007; 68 Suppl 1:S232-41.

SEIS. FERTILIDAD

La fertilidad de las vacas lecheras ha disminuido en los últimos 30 años casi un punto porcentual por año, lo que ha coincidido con un incremento sostenido en la producción de leche. En los hatos lecheros de Norteamérica en la década de 1960 se lograba gestar hasta 65 por ciento de las vacas inseminadas mientras que actualmente el porcentaje de concepción es alrededor de 30.

Se ha comprobado que de 80 a 90 por ciento de los ovocitos son fertilizados, sin embargo, una alta proporción de los embriones muere antes del día 18 posinseminación. Así, las vacas regresan en estro en un periodo equivalente a un ciclo estral normal, debido a que la muerte del embrión ocurre antes del reconocimiento materno de la gestación (FIGURA VI-1).

6.1 Estimación de la fertilidad en el hato lechero

En el hato lechero hay diferentes maneras de estimar la fertilidad y cada una de ellas ofrece una visión parcial del problema, en esta parte del capítulo se describirán los principales estimadores de la fertilidad.

6.1.1 Porcentaje de concepción

Se refiere a la proporción de vacas gestantes del total inseminado y se calcula al momento del diagnóstico de gestación. Es difícil poner una meta para este parámetro, ya que depende de diversos factores que pueden variar entre hatos, y también se ve afectado por la época del año. No obstante, se considera una buena meta global entre 35 a 40 por ciento.

6.1.2 Tasa de preñez

La tasa de preñez representa la proporción de vacas que gestan, del total elegible para ser inseminado durante un periodo equivalente a

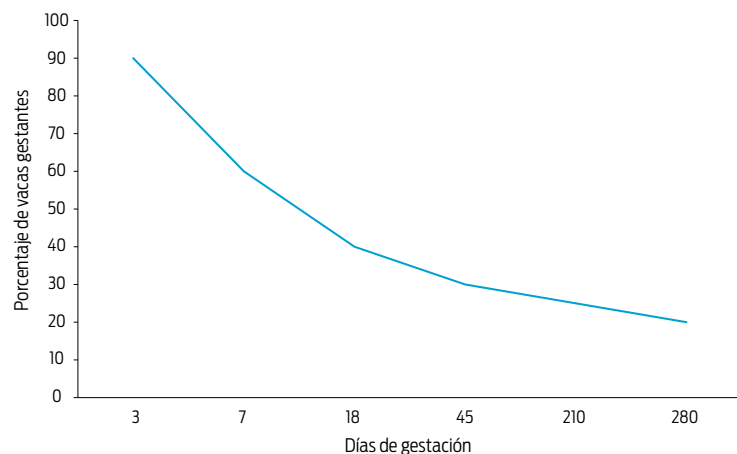


FIGURA VI-1. La causa principal del fracaso reproductivo es la muerte embrionaria temprana. Alrededor de 80 a 90 por ciento de los ovocitos se fertilizan. Sólo 50 por ciento de los embriones sobrevive al momento del diagnóstico de gestación. Además, entre 20 a 30 por ciento de las vacas diagnosticadas gestantes pierden la gestación en los siguientes meses.

un ciclo estral (21 días). La tasa de preñez es un parámetro resultante de dos aspectos: la eficiencia en la detección de estros y del porcentaje de concepción. La tasa de preñez se calcula multiplicando la eficiencia en la detección de estros por el porcentaje de concepción, dividido entre 100. De tal modo que, en un hato con una eficiencia en la detección de estros de 50 por ciento y con un porcentaje de concepción de 30, se obtiene una tasa de preñez de 15 por ciento. Este número indica que de las vacas elegibles para que muestren estro y sean inseminadas en un periodo de 21 días, sólo 15 por ciento de ellas queda gestante. Una tasa de preñez aceptable es de 21 por ciento.

6.1.3 Porcentaje de vacas gestantes

El porcentaje de vacas gestantes es un parámetro que ofrece una visión global de la fertilidad del hato. Este indicador se calcula a partir de las vacas positivas al diagnóstico de gestación (60 días después del último servicio) e incluye las vacas secas. Así que, se multiplica siete (los meses que tiene de gestación la vaca) por el porcentaje de vacas que deben estar gestando cada mes (7×8), de lo cual resulta 56 por ciento. La meta esperada de este parámetro es 50 a 60 por ciento de vacas gestantes en cualquier momento del año.

Otra forma de conocer la fertilidad es mediante la estimación del porcentaje de vacas gestantes por mes. Para mantener la población estable, debe quedar gestante mensualmente ocho por ciento de las vacas (número de vacas/intervalo entre partos).

6.1.4 Días abiertos

Este parámetro indica los días que transcurren del parto, al día en que la vaca queda gestante. Al calcular los días abiertos se debe ser cuidadoso, ya que hay dos formas de hacerlo. En la primera, se calcula considerando sólo las vacas que quedan gestantes, por lo cual hay una subestimación del parámetro; éste cálculo arroja resultados muy “alegres” (120 o 130 días abiertos), ya que no considera a las vacas que tienen más de 200 días en leche y no están gestantes. En la segunda forma de estimación, se consideran las vacas gestantes y las no gestantes (abiertas). Este segundo método es el más exacto, ya que el parámetro obtenido se acerca más a la realidad. La meta de este parámetro, considerando a las vacas gestantes y a las abiertas es de 150 días.

6.1.5 Intervalo entre partos

Este parámetro se refiere al tiempo transcurrido entre dos partos consecutivos en la misma vaca. Es un parámetro tan general que no permite hacer un análisis de los problemas reproductivos, ni facilita la toma de decisiones. Este parámetro sobrestima la fertilidad debido a que para su obtención sólo se consideran las vacas que tienen dos partos consecutivos y no las vacas que permanecen abiertas por largos periodos y que incluso llegan a ser desechadas por infértiles.

Hace 30 años, el intervalo entre partos recomendado era de 12 meses. En la actualidad, tener un intervalo entre partos corto no siempre resulta conveniente, ya que se obtiene menor volumen acumulado de leche y es frecuente que muchas vacas lleguen al momento del secado con altas producciones. En este sentido, en hatos lecheros explotados intensivamente, la meta es lograr un intervalo entre partos de 13.5 meses; incluso se ha propuesto que las lactaciones extendidas con intervalos entre partos de 18 meses son económicamente redituables, aunque todavía no hay datos suficientes que respalden esta propuesta.

6.1.6 Días en leche

Los días en leche es el promedio de días en lactación, de todas las vacas en producción del hato. Este parámetro se calcula sumando los días en lactación que tiene cada vaca y se divide entre el total de vacas. En un hato con una distribución uniforme de los partos durante el año, habrá vacas con diferentes días en leche (frescas, de media lactación y de lactación avanzada). La meta de días en leche es de 160 a 170 en cualquier momento del año. A diferencia de los días abiertos o el intervalo entre partos, los cuales se calculan generalmente sin considerar a las vacas vacías, los días en leche incluyen a todas las vacas independientemente de su estado reproductivo.

En los hatos lecheros comerciales con frecuencia este parámetro es de más de 200 días. Un incremento en el número promedio de días en leche indica aumento del número de vacas con lactaciones de más de 365 días, lo cual obedece a largos periodos abiertos y específicamente a problemas de fertilidad. Los días en leche, brindan, de manera práctica y rápida, una fotografía de la fertilidad del hato.

6.1.7 Porcentaje de vacas secas

Se espera que 15 por ciento de las vacas esté en el grupo de las vacas secas, en cualquier momento del año. Dentro de este porcentaje están consideradas las vaquillas de reemplazo (12.5 por ciento vacas secas y 2.5 por ciento de vaquillas). Un incremento en la proporción de vacas secas indica una falta de homogeneidad en la distribución de los partos durante el año o un aumento del tiempo (más de dos meses) de permanencia en el grupo seco, lo cual está relacionado con problemas de fertilidad; es decir, vacas que se habrían secado por baja producción y con poco tiempo de gestación. Por el contrario, una disminución de la proporción de vacas secas indica que no se está cumpliendo con el porcentaje de vacas gestantes por mes. Dicho de otra forma, refleja un aumento del número de vacas abiertas debido frecuentemente a la alta incidencia de abortos en los establos.

6.2 Factores asociados con la fertilidad

6.2.1 Producción de leche

La vaca especializada en la producción de leche se ha transformado en los últimos 40 años. El mejoramiento genético, la utilización de

dietas con mayor concentración de nutrimentos y el mejoramiento de los sistemas de manejo han permitido un incremento significativo de la producción de leche.

Metabólicamente la vaca de hoy día, con potencial genético para producir 12 mil kg de leche al año, es distinta a la vaca de hace 40 años. Se ha observado que las vacas con mérito genético más alto tienen concentraciones sanguíneas de la hormona del crecimiento más elevadas que las vacas menos seleccionadas, y esta diferencia es independiente de los cambios en balance energético. El metabolismo de vacas altamente seleccionadas difiere del de las vacas menos seleccionadas, de modo tal que parece hacerlas más adaptadas para movilizar reservas energéticas corporales y para enfrentar las altas demandas de energía propias de la lactación. Estos cambios en el metabolismo animal, que asegura la disponibilidad adecuada de nutrimentos para la producción láctea, pueden acarrear efectos negativos para la función reproductiva, particularmente cuando se asocian a un mal manejo de la alimentación. Por ejemplo, las vacas seleccionadas para mayor producción de leche son más propensas a tener un retraso en el tiempo del parto a la primera ovulación.

Recientemente se demostró una correlación entre los valores predichos de los toros para intervalo entre partos, días a la primera inseminación y número de inseminaciones por concepción con la probabilidad que tienen los ovocitos de sus hijas para desarrollarse hasta la etapa de blastocisto, lo que indica una clara influencia genética en la fertilidad.

Sin duda, la selección de ganado mayor productor de leche también ha seleccionado vacas menos fértiles. Sin embargo, la participación relativa de la genética, como causa de la baja fertilidad del ganado lechero, es menor que los factores relacionados con la intensificación del manejo en los hatos modernos.

6.2.2 Número de vacas por hato

Al mismo tiempo que ha aumentado la producción de leche por vaca, la ganadería lechera también ha experimentado un crecimiento en el número de cabezas por hato. En México se ha observado en los últimos años un crecimiento de los hatos y el establecimiento de otros nuevos con más de 1000 vacas en ordeño (FIGURA VI-2). El crecimiento de los hatos ocasiona que las prácticas más elementales





FIGURA VI-2. El problema de fertilidad se ha agudizado en los últimos años por el crecimiento de los hatos lecheros.

de manejo no se realicen correctamente. Un ejemplo de errores de manejo, debidos al tamaño del hato, es durante la administración de las hormonas para la sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo. El manejo de lotes grandes conlleva a que algunas vacas reciban una inyección equivocada y en otros casos (no poco frecuentes) que algunas vacas reciban PGF2 α cuando están gestantes.

El tamaño del hato ocasiona otro tipo de problemas asociados con el manejo general. Al ser el hato más grande y al tener prácticas de manejo más intensivas (hatos con tres ordeños), los trabajadores pierden más fácilmente el control de las vacas. Por otra parte, el confinamiento en grandes grupos también puede afectar la fertilidad, ya que se sabe, por ejemplo, que el confinamiento se asocia con la incidencia de diferentes condiciones que afectan la reproducción (ejemplo: retención de placenta e infecciones uterinas).

6.2.3 Inicio de la actividad ovárica posparto

El intervalo del parto a la primera ovulación se ha asociado con la fertilidad. Así, las vacas que ovulan rápido después del parto, tienen más ciclos estrales antes de la primera inseminación, lo que las hace más fértiles que las vacas que tienen menos ciclos estrales. El tiempo promedio del parto a la primera ovulación ha aumentado en los últimos 40 años; así, en 1964 era de 30 días y actualmente es de 40 días.

El intervalo del parto a la primera ovulación es afectado principalmente por los cambios metabólicos que ocurren durante el periodo de transición. Se ha observado que la pérdida de condición

corporal de más de 1 punto (escala 1 a 5) durante las primeras cuatro semanas posparto, alarga el periodo del parto a la primera ovulación.

6.2.4 Número de servicios

En el pasado, la baja fertilidad era una condición que se circunscribía a las vacas repetidoras (vacas con más de tres servicios infértiles), actualmente se sabe que este problema es crítico desde el primer servicio, en el cual con frecuencia el porcentaje de concepción no supera el 30 por ciento. En los hatos lecheros actuales es frecuente que las vacas de tercer y cuarto servicios tengan un porcentaje de concepción mayor que las de primer y segundo servicios. El efecto del número de servicios indica que algunas causas de infertilidad en las vacas lecheras están relacionadas con la cercanía del periodo posparto, de esta manera al acumular más días en leche se observa un mejoramiento en la fertilidad. Las vacas en los primeros dos servicios están más expuestas a factores que pueden ocasionar falla en la concepción, tales como el balance energético negativo o cualquier problema relacionado con el puerperio; mientras que las vacas de tres o más servicios están más lejos de dichos factores. Existe evidencia que el balance energético negativo afecta la función del cuerpo lúteo del segundo y tercer ciclo posparto y disminuye el potencial de los ovocitos para desarrollar embriones viables (CUADRO VI-1; FIGURA VI-3).

Cuadro VI-1.

Porcentaje de concepción por número de servicio en vacas lecheras

Número de servicio	Vacas inseminadas	Vacas gestantes	Porcentaje
1	3154	943	30 ^b
2	2037	633	31 ^b
3	1278	464	36 ^c
≥4	1738	615	35 ^c

^{b, c} Valores que no comparten la misma literal son diferente P(<0.05). Tixi *et al.*, (2009).

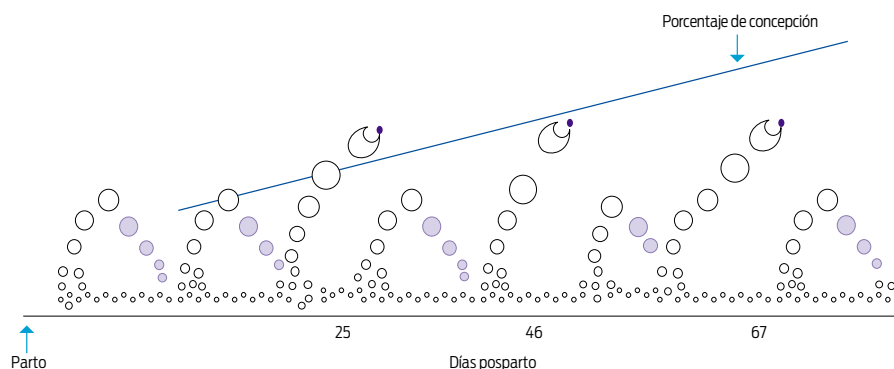


FIGURA VI-3. El porcentaje de concepción se incrementa conforme transcurren los días posparto. Este fenómeno se debe a que con el pasar de los días después del parto la vaca se aleja de las patologías del puerperio, ya que con las oleadas foliculares se van eliminando los folículos y ovocitos afectados por el balance negativo de energía y comienzan a desarrollarse otros con mayor potencial para desarrollar embriones sanos.

6.2.5 Concentraciones séricas de progesterona

Las causas de la baja fertilidad en la vaca lechera son de naturaleza diversa; sin embargo, muchas de ellas están relacionadas con la alta producción de leche y con concentraciones séricas de progesterona bajas. Las vacas lecheras tienen niveles subnormales de progesterona sérica debido a la alta tasa de eliminación hepática determinada por el alto consumo de materia seca (CUADRO VI-2; FIGURA VI-4; FIGURA VI-5). Se ha demostrado que las vacas en lactación tienen menores concentraciones séricas de progesterona que las vaquillas o que las vacas que no están en lactación. Las concentraciones bajas de progesterona se han relacionado con anomalías del desarrollo embrionario temprano y con menor secreción de interferón- τ ; pero, el efecto de la progesterona en la fertilidad no se limita a la influencia que esta hormona tiene en el desarrollo embrionario, sino que también está asociado con alteraciones en la dinámica folicular. Las vacas con niveles subnormales de progesterona sérica ovulan folículos que tienen más días de dominancia que las vacas con niveles normales de progesterona. Se conoce que los folículos con más días de dominancia liberan ovocitos con menor potencial para desarrollar un embrión sano. Asimismo, las vacas que tienen una fase lútea con niveles altos de



FIGURA VI-4. Una de las causas principales de la falla en la concepción es el bajo nivel de progesterona sérica, lo cual se debe a disfunción del cuerpo lúteo y a la rápida eliminación de la progesterona en el hígado.

progesterona previa a la inseminación tienden a ser más fértiles que las vacas con menores niveles.

La participación relativa de las concentraciones subnormales de progesterona sérica, como causa de infertilidad, es mayor en las vacas de primer servicio que en las vacas de más servicios, debido a que las de primer servicio están más cerca del balance energético negativo y del pico de lactación.

Cuadro VI-2. Diferencias en algunas características reproductivas entre vacas en lactación y vaquillas

	Vacas en lactación	Vaquillas
Duración del estro (h)	8.7	13.8
Doble ovulación (%)	20	1
Partos gemelares (%)	8	1
Porcentaje de concepción	30-35	65-70
Pérdidas de gestaciones (%)	20	5
Tamaño del folículo ovulatorio (mm)	18.5	14.9
Concentración máxima de estradiol (pg/mL)	7.9	11.3
Volumen del cuerpo lúteo (mm ³)	11.1	7.3
Concentración máxima de progesterona (ng/mL)	5.6	7.3

Wiltbank *et al.*, (2006)

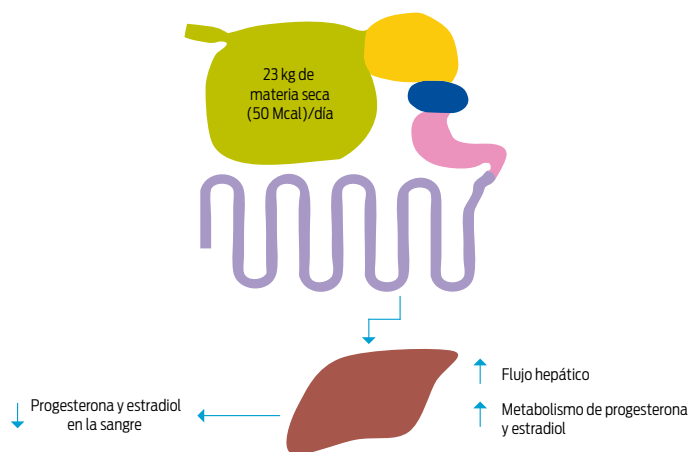


FIGURA VI-5. El elevado consumo de materia seca en la vaca lechera ocasiona aumento del flujo hepático y con ello se acelera la eliminación de las hormonas esteroides.

6.2.6 Nutrición

Independientemente del efecto de los cambios metabólicos provocados por el balance energético negativo, las dietas ofrecidas a las vacas altas productoras también pueden afectar la fertilidad. Un consumo excesivo de proteína degradable (>18%) y una deficiencia relativa de carbohidratos ocasionan un aumento de amoníaco en el rumen. Este compuesto se absorbe por la pared ruminal y en el hígado es convertido en urea. Otra fuente de urea es la que se genera en el hígado durante el proceso de catabolismo de los aminoácidos. Así, las vacas alimentadas con altos niveles de proteína degradable tienen altas concentraciones de urea en sangre, la cual disminuye el potencial de los ovocitos para desarrollar embriones sanos y afecta la viabilidad embrionaria.

Proveer todos los nutrimentos a las vacas con niveles altos de producción obliga a ofrecer dietas altas en energía (dietas calientes), basadas en granos. De esta forma, se presenta con frecuencia acidosis ruminal subclínica, lo cual también se asocia con la baja fertilidad. La asociación entre acidosis y fertilidad no es clara, pero puede estar determinada por la absorción de endotoxinas y liberación de prostaglandinas.

La semilla de algodón se utiliza en las dietas de las vacas en los sistemas intensivos de producción. Esta semilla, además de ser una



FIGURA VI-6. Vacas en estrés calórico. En estas vacas es frecuente que la temperatura corporal llegue a 41.5°C.

excelente fuente de energía, proteína y fibra, contiene altas concentraciones de gossipol. Esta sustancia es altamente tóxica en especies monogástricas, sin embargo, los rumiantes son relativamente resistentes al gossipol, debido a que este pigmento se inactiva en el rumen. La cantidad de semilla de algodón contenida en las dietas comunes ofrecidas a las vacas lecheras (10 por ciento de la materia seca) provocan concentraciones de gossipol en plasma dentro del margen de seguridad (<5 µg/mL). Sin embargo, el uso de mayores cantidades de semilla de algodón o la utilización de variedades con mayor contenido de este pigmento (variedad “Pima”), generan concentraciones plasmáticas de gossipol mayores de >5 µg/mL, las cuales disminuyen el porcentaje de concepción. Observaciones en hatos lecheros en California, con dietas que contenían semilla de algodón con mayor contenido de gossipol, mostraron una disminución significativa de la fertilidad.

6.2.7 Estrés calórico

El ganado lechero es altamente sensible a las altas temperaturas, prueba de ello es la reducción de la fertilidad cuando este ganado se encuentra en climas cálidos o durante la época del año con mayor temperatura. El porcentaje de concepción llega a caer de 30 por ciento obtenido en los meses templados o fríos, a 10 o 15 por ciento durante el verano.

Los efectos del estrés calórico en la reproducción del ganado lechero se han incrementado en los últimos años, lo que ha coincidido con el aumento en la producción de leche. Se ha observado que

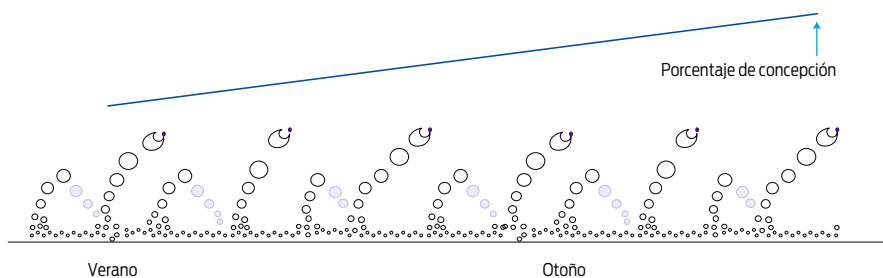


FIGURA VI-7. El estrés calórico tiene efecto a largo plazo (efecto residual); así, las vacas sometidas a estrés calórico durante el verano también muestran baja fertilidad en la primera mitad del otoño. Este efecto se puede explicar por el efecto negativo de las altas temperaturas en los ovocitos, durante las diferentes etapas del desarrollo folicular.

el incremento del peso vivo de las vacas lecheras y el aumento en la producción de leche se reflejan en un incremento de la generación de calor metabólico. De esta forma, las vacas más grandes tienen un aparato digestivo con mayor capacidad, lo que les permite consumir y digerir más alimento. Durante el metabolismo de los nutrientes se genera calor, el cual contribuye con el mantenimiento de la temperatura corporal, condición favorable en climas fríos; sin embargo, en climas cálidos el calor se debe eliminar para mantener la temperatura corporal dentro de los rangos normales. Debido a que la capacidad de termorregulación de la vaca lechera es limitada, es común que en las vacas expuestas a estrés calórico la temperatura corporal alcance valores entre 39.5 a 41.5°C (FIGURA VI-6).

El aumento de la temperatura corporal tiene efectos negativos en la reproducción. En México hay regiones en donde es evidente el efecto negativo del estrés calórico en la fertilidad; así, en las cuencas lecheras de Aguascalientes, Torreón, Chihuahua y Mexicali, se observa una reducción del porcentaje de concepción en los meses cálidos. En otras regiones del centro del país como Querétaro, San Luis Potosí y Guanajuato, todavía no se observa visiblemente una reducción de la fertilidad en los meses cálidos; sin embargo, dado que las vacas llevan una tendencia ascendente en la producción de leche y, en consecuencia, en la generación de calor, es posible que en los próximos años comience a verse este fenómeno. Una reducción de la fertilidad durante el verano ya se observa en regiones de Estado Unidos y Canadá, en donde hasta hace pocos años no era evidente dicho efecto.

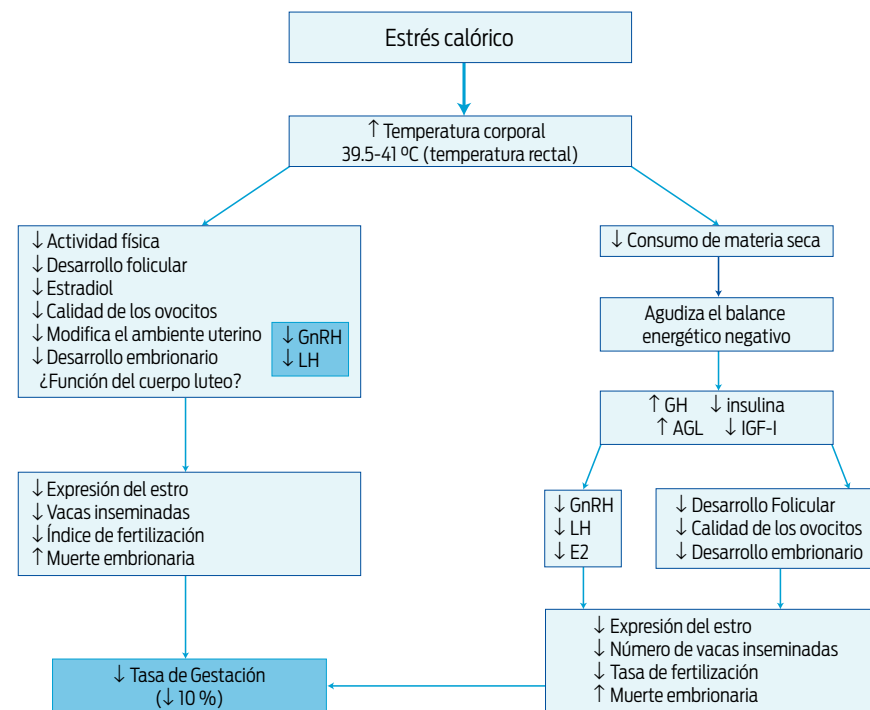


FIGURA VI-8. Diferentes efectos del estrés calórico en la reproducción. Adaptado de De Rensis y Scaramuzzi (2003).

En condiciones *in vivo*, el estrés calórico, durante los días uno al siete después del estro, afecta el desarrollo embrionario en vacas superovuladas. *In vitro*, la exposición de los embriones a temperaturas equivalentes a la temperatura rectal de las vacas, bajo estrés calórico (41 °C), disminuye la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocisto. La susceptibilidad de los embriones al estrés calórico disminuye conforme estos avanzan en su desarrollo. Así, los embriones de dos células son más susceptibles que los embriones en la etapa de mórula. También el estrés calórico disminuye la capacidad de los embriones para producir interferón-t.

El efecto del estrés calórico en la fertilidad no sólo se observa durante los meses más calurosos, sino que también es evidente un efecto a largo plazo (efecto residual) ya que las vacas sometidas a estrés calórico durante el verano mantienen baja fertilidad durante



FIGURA VI-9. Corrales con sombra en condiciones semidesérticas del norte de México.

el otoño. Este efecto se puede explicar por el efecto negativo de las altas temperaturas en los ovocitos durante las diferentes etapas del desarrollo folicular (FIGURA VI-7).

El estrés calórico puede afectar la reproducción indirectamente mediante, las alteraciones que provoca en el consumo voluntario. Las vacas bajo estrés calórico reducen el consumo de materia seca, lo cual hace más agudo el balance energético negativo. Así, los efectos del estrés calórico en la reproducción se combinan con los efectos que tiene el balance energético negativo. Por ejemplo, el anestro posparto se prolonga en vacas con balance energético negativo y se agrava durante el verano, lo que resulta en un periodo anovulatorio más largo (FIGURA VI-8).

6.2.8 Estrategias para disminuir el efecto del estrés calórico en la fertilidad

6.2.8.1 Sombras

La disminución de la exposición a la radiación solar directa mediante las sombras es el método más simple. Existen diversos diseños de sombras, pero lo que siempre se debe considerar es una buena altura para que fluya el aire, buena orientación, para que permita que el sol incida en el piso, y debe ofrecer el espacio suficiente para todos los animales (FIGURA VI-9). El beneficio de las sombras en la reproducción ha quedado demostrado en diversos estudios; sin embargo, las sombras sólo llegan a disminuir los efectos del estrés calórico



FIGURA VI-10. Corrales con ventilación forzada en condiciones semidesérticas del norte de México.



FIGURA VI-11. Corrales con ventilación forzada.



FIGURA VI-12. Corrales con ventilación forzada.

en condiciones de temperatura y humedad no extremas (por ejemplo, en climas templados o en regiones con baja humedad relativa).

6.2.8.2 Ventilación forzada

El movimiento del aire favorece la pérdida de calor por convección y en condiciones de baja humedad ambiental, permite la eliminación de calor por evaporación (FIGURA VI-10, VI-11, VI-12).

6.2.8.3 Refrescamiento en estanques

Este método consiste en la construcción de estanques, para que las vacas permanezcan en inmersión durante periodos cortos (FIGURA VI-13, VI-14). Es un método eficaz para que las vacas pierdan calor en las horas más calientes del día, pero es poco práctico ya que las vacas se deben mover de sus alojamientos.

6.2.8.4 Refrescamiento con humedad y ventilación forzada

El humedecimiento sólo favorece la pérdida de calor cuando la humedad relativa es baja. En condiciones con humedad relativa alta, se debe combinar el humedecimiento con ventilación forzada. Existen dos posibilidades para combinar estas técnicas: la primera consiste en la utilización de un sistema que genera pequeñas gotas (nebulizadores) que al evaporarse enfrían el aire lo que permite la eliminación de calor por convección (pérdida de calor por diferencia de la temperatura entre la superficie del animal y el aire); este sistema es más eficaz cuando se introduce una corriente de aire fresco (FIGURA VI-15). La segunda consiste en la aspersión de agua para humedecer la piel, combinada con la ventilación forzada. Este sistema se puede utilizar en los alojamientos y en el área de espera de la sala de ordeño (FIGURA VI-16).

La utilización de sistemas de refrescamiento ha logrado disminuir parcialmente los efectos negativos del estrés calórico en la reproducción; sin embargo, la fertilidad sigue siendo menor en comparación con la obtenida en los meses frescos del año. Por lo tanto se han explorado otras estrategias dentro de las cuales destacan la utilización de sustancias antioxidantes. Existe evidencia de que administrar antioxidantes a las vacas lecheras, puede incrementar los porcentajes de concepción; probablemente, al reducir las concentraciones de radicales libres que aumentan a nivel celular como consecuencia de las altas temperaturas. Por otra parte, debido a que



FIGURA VI-13. Estanques de refrescamiento en el norte de Florida.



FIGURA VI-14. Estanques de refrescamiento en el norte de Florida.

el estrés calórico afecta al embrión durante los primeros días de desarrollo (primeros 4 días), se ha evaluado la transferencia de embriones producidos en la época fresca del año o producidos *in vitro* con resultados alentadores, pero todavía esta estrategia tiene limitaciones técnicas y económicas que impiden aplicarse rutinariamente.

6.2.9 Estrés oxidativo

Alrededor de dos por ciento del oxígeno utilizado en el metabolismo animal se convierte en especies reactivas de oxígeno entre las que se encuentran los iones de oxígeno, los radicales libres y los peróxidos. Estas moléculas son removidas por varios sistemas bioquímicos pre-

sentes en las células y en los fluidos extracelulares, conocidos como antioxidantes. La producción excesiva de moléculas oxidantes y la deficiencia de sustancias antioxidantes conduce a su acumulación y al daño celular, lo que se conoce como estrés oxidante. La acumulación de especies reactivas de oxígeno puede ser una causa de baja eficiencia reproductiva, debido a que pueden afectar la síntesis de hormonas esteroides, la tasa de fertilización y el desarrollo temprano del embrión.

Dentro de los sistemas antioxidantes se encuentran el selenio, la vitamina E y los β -carotenos. No obstante que estos antioxidantes están presentes en las dietas de los bovinos, su administración exógena intramuscular mejora el desempeño reproductivo.

Las vacas lecheras altas productoras necesitan mayores cantidades de sustancias antioxidantes, debido a que su metabolismo oxidativo es mayor dado al elevado consumo de energía metabolizable. En pruebas de campo con vacas lecheras, la complementación con selenio y vitamina E, antes y después del parto, disminuye las patologías del puerperio y mejora la fertilidad; además, su administración en vacas superovuladas mejora la calidad embrionaria. También la inclusión en la dieta de β -carotenos mejora la fertilidad en vacas bajo estrés calórico.

6.2.10 Momento y técnica de inseminación artificial

En 1948 Trimberger recomendó el esquema de inseminación artificial AM-PM y PM-AM, lo cual significa que las hembras observadas en estro en la mañana se inseminan en la tarde y las de la tarde se inseminan en la mañana siguiente. Este horario de inseminación se ha utilizado desde entonces; sin embargo, en las condiciones actuales no es el óptimo.

La inseminación debe realizarse durante el periodo de receptividad sexual, el cual dura de 8 a 18 horas. La ovulación ocurre de 28 a 30 horas después del inicio del estro y el ovocito tiene una vida de 8 a 10 horas. Por otra parte, los espermatozoides tienen una viabilidad de 24 a 36 horas y para que alcancen la mayor capacidad de fertilización, deben permanecer, al menos seis horas en la región del istmo, antes de la ovulación. De tal modo que el depósito del semen, 12 horas después del inicio del estro, asegura el encuentro de un espermatozoide con capacidad fertilizante y un ovocito con el máximo

FIGURA VI-15. Alojamiento con refrescamiento con humedad y ventilación forzada en condiciones semi-desérticas del norte de México.



FIGURA VI-16. Refrescamiento con humedad y ventilación forzada, en el espacio de espera de la sala de ordeño en condiciones semidesérticas del norte de México.



potencial para desarrollar un embrión sano. Sin embargo, debido a las graves deficiencias que existen en la detección de estros, no se sabe si las vacas detectadas en calor se encuentran en las primeras o en las últimas horas del estro. En el primer caso, si las vacas se inseminan 12 horas después, estarían en el momento óptimo, pero en el segundo caso, posponer 12 horas la inseminación tiene consecuencias negativas en la fertilidad, ya que aumenta la probabilidad de fertilización de ovocitos viejos, lo que resulta en muerte embrionaria temprana. En estos casos es recomendable inseminar en el turno inmediato a la detección del estro y evitar que transcurran 12 horas. La buena eficiencia en la detección de estros permite inseminar en el esquema AM-PM y PM-AM, o inclusive en un solo turno de insemi-

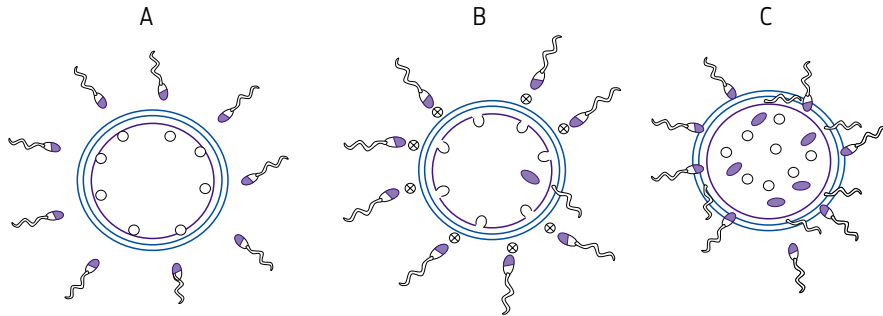


FIGURA VI-17. Con la penetración del espermatozoide se activa el mecanismo de bloqueo de la polispermia. Este mecanismo consiste en la liberación de sustancias contenidas en los gránulos corticales, las cuales evitan la penetración de más espermatozoides (A y B). El bloqueo de la polispermia es menos eficaz conforme el óvulo envejece, de tal forma que después de 10 horas de haberse liberado, este mecanismo falla. La consecuencia de la polispermia es la muerte embrionaria temprana, debido a alteraciones de naturaleza genética (C).

nación por la mañana (10:00), con buenos resultados en concepción (FIGURA VI-17).

Otro error consiste en inseminar a las vacas cuando no están en estro. La determinación de las concentraciones de progesterona sérica al momento del servicio indica que de 5 a 20 por ciento de las vacas tienen concentraciones de progesterona > 1 ng/mL, lo que indica que no están en estro.

Los programas de inseminación a tiempo fijo tienen el riesgo de que se pueden inseminar vacas en anestro. Por otro lado, en algunos hatos lecheros se toma, como único criterio para la inseminación, la desaparición de la pintura (crayón) de la grupa, lo cual provoca que alrededor de 10 por ciento de las vacas regresen en estro en los siguientes 15 días.

La tasa de fertilización señalada para el ganado lechero se ha obtenido en observaciones experimentales, en las cuales se han controlado diversos factores que no se pueden controlar en los hatos comerciales, lo que obliga a preguntarse si realmente la falla en la fertilización sólo contribuye con 10 a 20 por ciento de las fallas reproductivas; es probable que una proporción mayor de los fracasos en la concepción se deban a la baja tasa de ovocitos fertilizados.

Por otra parte, las causas de la falla en la fertilización también están relacionadas con deficiencias en el manejo de la técnica de in-

FIGURA VI-18. Con frecuencia los problemas de fertilidad tienen su origen en la técnica de inseminación. Se debe supervisar periódicamente el trabajo de los inseminadores.



FIGURA VI-19. Se debe reentrenar a los técnicos inseminadores con frecuencia.



FIGURA VI-20. El semen se debe depositar en el cuerpo del útero.



seminación. No es raro que el manejo del termo sea deficiente y que con frecuencia el nivel de nitrógeno disminuya por debajo del nivel de seguridad. También es común observar que se descongelen las dosis, sin seguir el protocolo y que se deposite el semen en la vagina o en el cérvix (FIGURA VI-18, VI-19, VI-20).

6.2.11 Condición corporal y fertilidad

La calificación visual de la condición corporal en el ganado lechero permite estimar el porcentaje de grasa corporal. Los cambios en la condición corporal están correlacionados positivamente con las concentraciones séricas de insulina, el IGF-I y leptina. Estas hormonas actúan como señales que llegan al hipotálamo y modifican la frecuencia de secreción de la GnRH. También se sabe que la insulina y el IGF-I estimulan el desarrollo folicular, la maduración del ovocito y el desarrollo embrionario (FIGURA VI-21).

Las vacas que ganan o mantienen la misma condición corporal, entre el día de la inseminación y el día 30 después del servicio, son más fértiles que las vacas que pierden condición corporal (CUADRO VI-3).

Cuadro VI-3. Porcentaje de concepción en vacas que perdieron, mantuvieron o ganaron condición corporal en los siguientes 30 días posinseminación

Gana	Mantiene	Pierde
62.1 ^a	56.6 ^a	25.2 ^b
(154/248)	(43/76)	(122/486)

Urzúa *et al.*, 2009.

6.1.12 Mastitis

En la vaca, la mastitis no sólo ocasiona pérdidas económicas por el costo de los tratamientos, eliminación de la leche, disminución de la producción y calidad de la leche y aumento de la tasa de desechos, sino también por el efecto que tiene en la fertilidad. Existen diferentes estudios que han demostrado una correlación negativa entre mastitis y fertilidad. Así, las vacas que tuvieron mastitis clínica antes del primer servicio, y entre el primer servicio y el diagnóstico de gestación fueron menos fértiles que las vacas que no padecieron mastitis. Asimismo,



FIGURA VI-21. La pérdida de condición corporal en los siguientes 30 días posinseminación disminuye el porcentaje de concepción.

las vacas con mastitis clínica, entre la inseminación y el diagnóstico de gestación, tuvieron mayor riesgo de perder la gestación.

El mecanismo por el cual la mastitis clínica afecta la fertilidad se desconoce, sin embargo, se proponen diferentes posibilidades. El incremento de la temperatura corporal secundario a la mastitis puede afectar la maduración de los ovocitos y el desarrollo embrionario, tal y como ocurre en vacas expuestas a estrés calórico; las sustancias producidas por las células durante el proceso inflamatorio afectan la maduración de los ovocitos y disminuyen la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocisto; las citocinas promueven la liberación de cortisol, el cual afecta la secreción de la LH; la PGF2 α (liberada durante el proceso infeccioso) puede ocasionar luteólisis, lo que podría explicar la mayor incidencia de abortos en vacas con mastitis.

La disminución de la fertilidad no sólo se observa en las vacas que padecen mastitis clínica, sino también en aquellas que la presentan en forma subclínica. Las vacas que padecieron mastitis subclínica antes de la inseminación tuvieron mayor riesgo de perder la gestación entre los días 28 a 45. Además, la mastitis subclínica afecta la síntesis de estradiol en los folículos y el intervalo del estro a la ovulación, lo cual podría ocasionar una asincronía entre la inseminación y el momento de la ovulación.

6.2.13 Endometritis

Entre 20 a 30 por ciento de las vacas padecen endometritis subclínica. Las vacas con este problema muestran menor fertilidad que las vacas sanas. Probablemente los cambios en el endometrio provocados por el proceso inflamatorio afectan la viabilidad embrionaria.

6.2.14 Dinámica folicular preservicio o postservicio

La supervivencia embrionaria también está asociada con la dinámica folicular, antes y después del servicio. La fertilidad es mayor en las vacas que presentan tres oleadas foliculares antes del servicio que en aquellas que tienen dos. En otras palabras, la fertilidad es mayor en las vacas que ovulan folículos de la tercera oleada que de la segunda oleada. Esto obedece a que los folículos ovulatorios de las vacas con dos oleadas tienen más días de dominancia que los de tres oleadas, lo cual afecta el potencial de los ovocitos para desarrollar un embrión viable (FIGURA VI-22; FIGURA VI-23). Asimismo, el número de oleadas foliculares después del servicio también influye en la fertilidad, de tal forma que las vacas que presentan tres oleadas foliculares tienen una fase lútea más larga y son más fértiles que las de dos oleadas.

6.2.15 El número de folículos antrales: indicador de fertilidad en la vaca

Durante el ciclo estral, el número de folículos antrales (>3 mm de diámetro) varía ampliamente entre las vacas; en una oleada folicular puede fluctuar de 5 a 50, en ambos ovarios. Esta característica es repetible en la misma vaca, y está correlacionada positivamente con el número total de folículos viables y con la fertilidad. En observaciones hechas en vacas lecheras posparto se ha encontrado que el número de folículos antrales presentes en la primera oleada folicular, está correlacionado positivamente con la fertilidad, de tal forma que las vacas con más folículos antrales tuvieron mayor porcentaje de concepción, menos días abiertos y menos servicios por concepción, que las vacas con pocos folículos. Asimismo, las concentraciones séricas de progesterona son mayores en las vacas que tienen más folículos antrales que en aquellas que tienen menos folículos. En otras observaciones con vacas superovuladas se ha correlacionado positivamente el número de folículos antrales previo al tratamiento con FSH con el número de ovulaciones y de embriones transferibles. La causa de la variación en la oferta de folículos antrales no

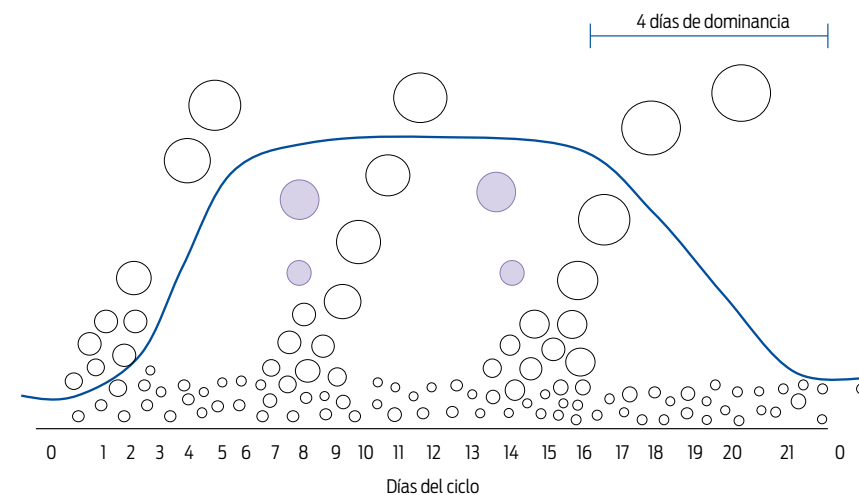


FIGURA VI-22. El porcentaje de concepción es mayor cuando la vaca tiene un ciclo estral previo al servicio con tres oleadas foliculares que cuando tiene dos oleadas. Esto obedece a que los folículos ovulatorios de las vacas con dos oleadas tienen más días de dominancia que los de tres oleadas, lo cual afecta el potencial de los ovocitos para desarrollar un embrión viable. En esta figura se muestra una vaca con tres oleadas foliculares que ovula un folículo que tuvo cuatro días de dominancia.

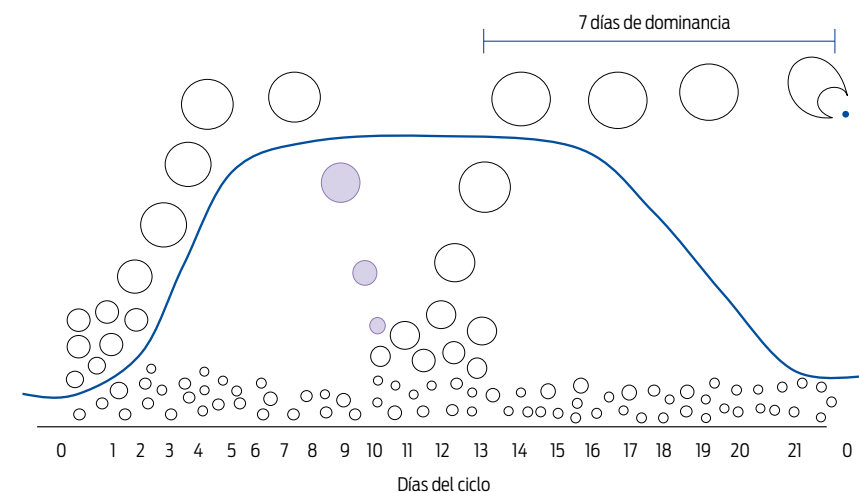


FIGURA VI-23. En esta figura se muestra una vaca con dos oleadas foliculares en el ciclo estral previo al servicio, la cual ovula un folículo que tuvo siete días de dominancia. El porcentaje de concepción será menor en estas vacas que en aquellas que tienen tres oleadas foliculares en el ciclo previo.

se conoce, pero se propone que tienen su origen desde el desarrollo embrionario; así, se puede deber a diferencias en la proliferación de las ovogonias o a la variación en la tasa de atresia de los folículos primordiales.

El ambiente materno durante la etapa embrionaria y fetal no sólo es determinante para que nazca un becerro viable, sino también tiene efectos a largo plazo en la progenie. En el ser humano el ambiente fetal determina el riesgo de sufrir enfermedades en la vida adulta, tales como problemas cardiovasculares, obesidad y diabetes. En la vaca se ha observado que la mala nutrición durante la vida fetal determina el número de folículos antrales. Además, la coincidencia del desarrollo embrionario con la etapa más crítica del estrés lactacional está asociada con características de la becerro en la vida adulta como la supervivencia, producción de leche y número de células somáticas. El manejo reproductivo en la vaca lechera tiene como meta que la vaca tenga un intervalo entre partos de 385 días, lo cual significa que la vaca debe quedar gestante en la etapa más crítica de su vida: es decir durante el pico de lactación y cuando todavía está en balance negativo de energía. De esta forma, el desarrollo del folículo ovulatorio, ovulación, fertilización, desarrollo embrionario y desarrollo fetal temprano, ocurren cuando la vaca tiene mayores carencias. Tomando la información referida en conjunto, es posible que las becerras que les tocó su desarrollo embrionario y fetal, en el periodo más crítico de la vaca, sean animales con baja fertilidad en su vida adulta.

6.2.16 Anormalidades del aparato reproductor

La falla en la concepción también se debe a anomalías congénitas y adquiridas del aparato reproductor. Aunque las anomalías congénitas en las vacas adultas son raras, se deben considerar siempre en la revisión de las vacas infértiles.

El doble cervix es una anomalía del desarrollo debida a una falla en la fusión de los conductos de Müller. El doble cervix puede ser completo, en el cual cada conducto comunica con su respectivo cuerno uterino, o parcial donde los orificios externos comunican con un solo canal cervical. Es una condición poco frecuente y rara vez interfiere con la fertilidad, aunque cuando se presenta en la forma completa sí puede afectarla siempre que se insemine del lado contrario del ovario que contiene el folículo ovulatorio. En la literatura se informa de casos de distocia debido a esta anomalía (FIGURA VI-24).

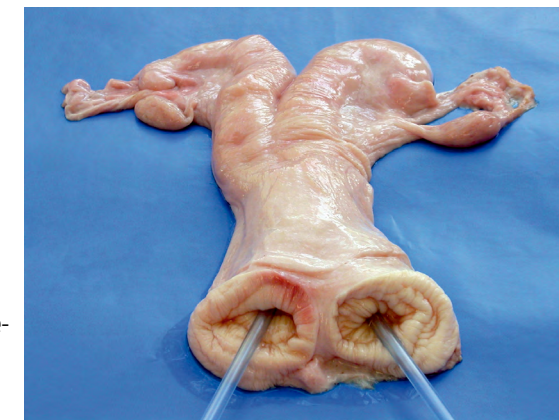


FIGURA VI-24. Doble cervix completo en una vaca lechera.

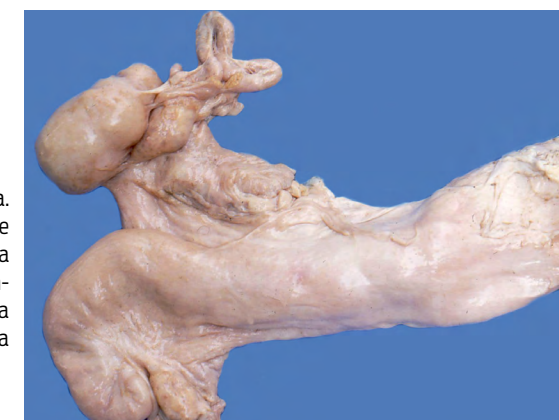


FIGURA VI-25. Aplasia segmentaria. Si la ovulación ocurre del lado donde está el cuerno uterino sano la vaca puede quedar gestante, pero cuando la ovulación ocurre del lado de la aplasia, la concepción fracasa y la vaca presenta anestros.

La aplasia segmentaria también es una anomalía rara, se caracteriza por la falta de desarrollo de un cuerno uterino. Si la ovulación ocurre del lado donde está el cuerno uterino completo, la vaca puede quedar gestante y parir sin complicaciones, pero cuando la ovulación ocurre del lado de la aplasia, la concepción fracasa y la vaca presenta anestros, ya que al no tener el cuerno uterino la $PGF2\alpha$ no llega al ovario con un patrón luteolítico (FIGURA VI-25)

Las anomalías adquiridas del aparato reproductor son frecuentes en las vacas lecheras adultas y son causa de infertilidad y eliminación de las vacas del hato. Dentro de estas patologías destacan la salpingitis y las adherencias ováricas.

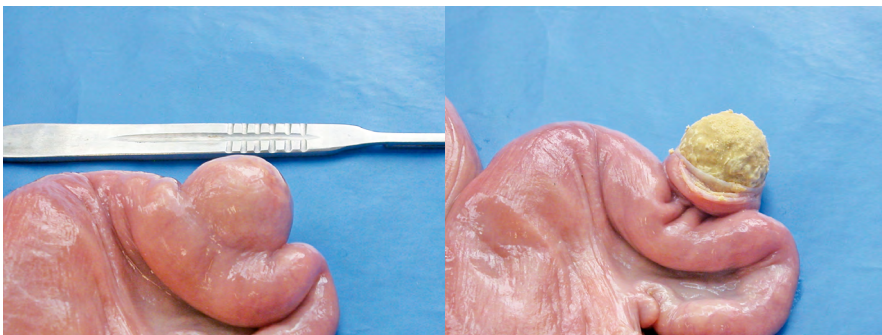


FIGURA VI-26. Algunas infecciones uterinas llegan a encapsularse y se forman abscesos. Esta patología puede ocasionar infertilidad.

La salpingitis es la inflamación del oviducto y puede ser unilateral o bilateral. Cuando es unilateral la vaca puede quedar gestante si la ovulación ocurre del lado sano, pero cuando es bilateral, ocasiona esterilidad. La causa de la salpingitis está relacionada con la inyección de estrógenos en las vacas con infecciones posparto. Se llegan a observar variantes de la salpingitis como piosalpinx, caracterizada por la dilatación del oviducto por acumulación de exudado purulento, e hidrosalpinx, caracterizada por acumulación de líquido (FIGURA VI-26, VI-27).

Las adherencias ováricas son consecuencia de procesos inflamatorios provocados generalmente por infecciones ascendentes. El ovario puede quedar adherido al oviducto o a la bursa ovárica, lo cual interfiere con la ovulación y con el transporte del ovocito. Igual que la salpingitis, si la afectación es unilateral la vaca puede eventualmente quedar gestante, pero cuando es bilateral es porque la vaca es estéril (FIGURA VI-28).

6.3 Tratamientos hormonales para mejorar el porcentaje de concepción

Existen diversos tratamientos para mejorar el porcentaje de concepción, los cuales tienen como objetivo principal disminuir la mortalidad embrionaria; sin embargo, debido a que la etiología de la muerte embrionaria es diversa, los resultados son poco consistentes y en la mayor parte de los casos en donde se observa efecto favorable, éste es alrededor de 10 por ciento (FIGURA VI-29).



FIGURA VI-27. Inflamación del oviducto. La causa de esta patología está relacionada con la inyección de estrógenos en las vacas con infecciones posparto.

6.3.1 Progesterona

Se han desarrollado tratamientos para aumentar el nivel sérico de progesterona. Así, se ha administrado progesterona en dispositivos intravaginales o se ha inducido un cuerpo lúteo accesorio mediante la inyección de hCG en el día cinco después del estro. En el primer caso los resultados han sido variables mientras que en el segundo se ha obtenido un incremento consistente de la fertilidad, particularmente en las vacas de primer servicio.

6.3.2 hCG en el día 5 posinseminación

Además del incremento del nivel sérico de progesterona en las vacas tratadas con hCG el día 5 posinseminación, la luteinización del folículo dominante en el día 5 posinseminación con hCG, ocasiona que una alta proporción de las vacas presente tres oleadas foliculares y una fase lútea más larga. De tal forma que el incremento del porcentaje de concepción puede ser promovido por el aumento de la progesterona sérica y por la modificación de la dinámica folicular. Independientemente del mecanismo de acción de la hCG, ésta es una opción eficaz para mejorar la fertilidad en las vacas lecheras (FIGURA VI-30; CUADRO VI-4).

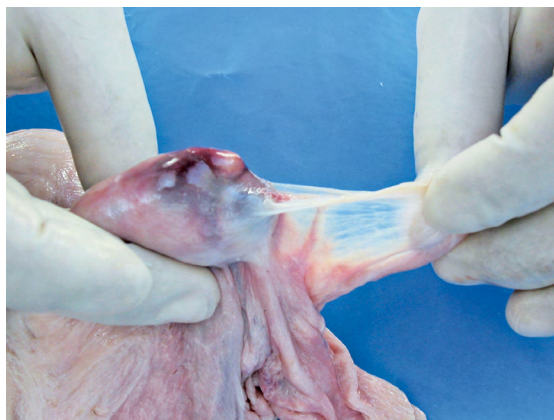


FIGURA VI-28. Las adherencias ováricas son consecuencia de procesos inflamatorios provocados generalmente por infecciones ascendentes.

Cuadro VI-4.

Porcentaje de concepción en el día 30 en vacas de primer servicio tratadas con hCG el día 5 posinseminación

Estudio	Tratamiento	Porcentaje de concepción
Santos <i>et al.</i> , 2001	hCG	45.8 ^a
	Testigo	38.7 ^b
Urzúa <i>et al.</i> , 2009	hCG	55.9 ^a
	Testigo	41.0 ^b

^{a,b} Diferente literal en la misma columna indica diferencia estadística (P<0.05).

6.3.3 GnRH o hCG al momento de la inseminación

Esta forma de enfrentar la falla en la concepción se fundamenta en el conocimiento de que estas hormonas sincronizan la ovulación con el momento de la inseminación, previenen problemas de ovulación retardada y mejoran el desarrollo del cuerpo lúteo. Sin embargo, la fertilidad obtenida con estos tratamientos es variable entre estudios.

6.3.4 GnRH o hCG en los días 12 a 14 posinseminación

Se ha propuesto que uno de los factores que contribuye con la falla en la concepción es la incapacidad del embrión para evitar la regresión del cuerpo lúteo. De esta forma, la inhibición de la cascada de la secreción de la PGF2 α podría mejorar los porcentajes de concepción, ya

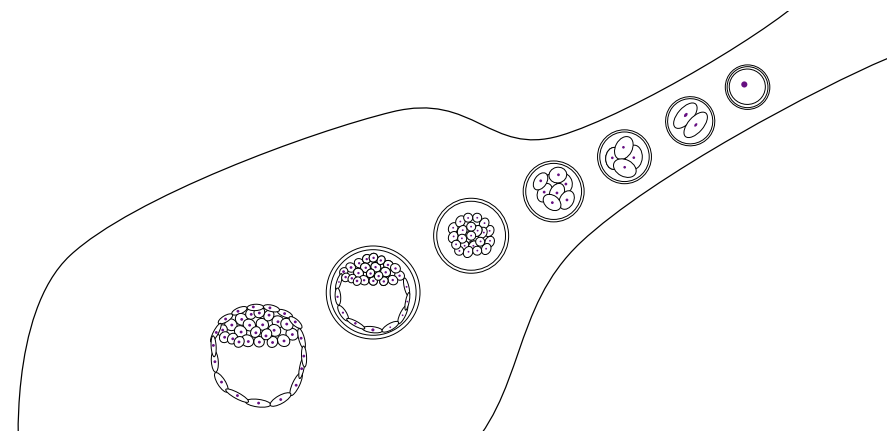


FIGURA VI-29. Los tratamientos para mejorar el porcentaje de concepción están orientados a disminuir los efectos negativos de los factores que provocan la muerte embrionaria durante los primeros 16 días posinseminación.

que al embrión se le daría más tiempo para alcanzar el estado óptimo de desarrollo, que le permitiera establecer eficazmente el mecanismo de reconocimiento materno de la gestación. Este es el principio de los tratamientos con GnRH o hCG entre los días 12 a 14 posinseminación, con lo cual se provoca la ovulación o luteinización de los folículos, lo que resulta en disminución de las concentraciones séricas de estradiol. En la práctica, se han evaluado tratamientos con GnRH o hCG los días 12 a 14; sin embargo, los resultados en fertilidad también son variables.

6.3.5 Hormona bovina del crecimiento (bST)

En el ganado lechero es común el uso de la bST para incrementar la producción de leche. La utilización de esta hormona en forma periódica aumenta 10 a 20 por ciento la producción láctea. Algunos de los efectos de la bST en la producción de leche obedecen a la acción directa de esta hormona. Sin embargo, el mayor efecto es provocado por el IGF-I, el cual aumenta en respuesta al tratamiento con bST.

La bST y el IGF-I también desempeñan funciones importantes en el control de la reproducción. Las dos hormonas, participan en la regulación del desarrollo folicular, en la función del cuerpo lúteo y, especialmente, en las primeras etapas del desarrollo embrionario. Estudios *in vitro* e *in vivo* muestran efectos favorables del IGF-I en el

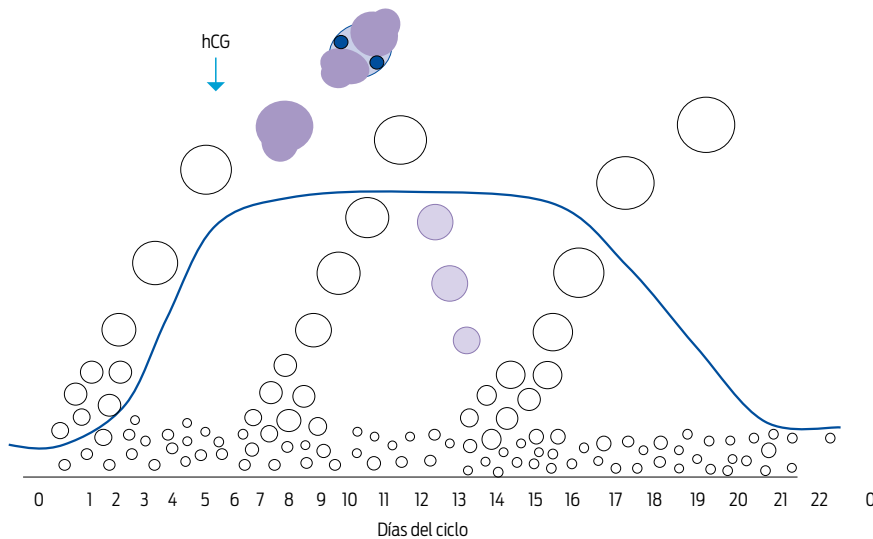


FIGURA VI-30. La inyección de hCG en el día 5 posinseminación tiene como propósito provocar la ovulación del folículo dominante y la formación de un cuerpo lúteo accesorio.

desarrollo embrionario. El IGF-I evita el efecto negativo de algunas sustancias tóxicas para los embriones, presentes en el medio uterino. La aplicación de 500 mg de bST, el día de la inseminación, ha demostrado eficacia para incrementar el porcentaje de concepción en vacas repetidoras y en vacas con más de 100 días en leche; en contraste, este tratamiento no ha tenido éxito en las vacas de primer servicio (CUADRO VI-5; CUADRO VI-6).

Cuadro VI-5.

Porcentaje de concepción de vacas repetidoras tratadas con 500 mg de bST el día de la inseminación

Estudios	Grupos	n	PC
Morales <i>et al.</i> (2001)	bST	201	36 ^a
	Testigo	309	25 ^b
Mendoza (2000)	bST	175	46 ^a
	Testigo	141	35 ^b

^{ab} P < 0,05

Cuadro VI-6.

Porcentaje de concepción de vacas de primer servicio tratadas con 500 mg de bST el día de la inseminación

Estudios	Grupos	n	PC
Mendoza (2000)	bST	195	39
	Testigo	167	35
Rodríguez <i>et al.</i> , (2009)	bST	185	36
	Testigo	250	35
Bell <i>et al.</i> , (2008)	bST	100	29
	Testigo	100	31

No hay diferencia estadística entre grupos de cada estudio (P>0.05).

6.4 Muerte fetal

Cuando el embrión muere en los primeros 18 días de gestación, se considera como muerte embrionaria temprana; en estos casos sólo se observa que la vaca presenta estro de 21 a 24 días después de la inseminación. Si el embrión muere entre los días 24 a 42 (antes que se complete la organogénesis), se considera como muerte embrionaria tardía; en estas vacas ocurre la reabsorción intrauterina del embrión y sólo se observa un retraso del retorno al estro. Si la muerte del embrión ocurre después del día 45, es un caso de muerte fetal. Cuando los fetos mueren en los primeros cuatro meses es frecuente que pasen desapercibidos, ya que son muy pequeños y se pierden en los pisos de los corrales, en estos casos sólo se observa que las vacas regresan en estro (FIGURA VI-31).

El aborto se define como la expulsión uterina del feto antes del término fisiológico de la gestación. De 20 a 25 por ciento de las vacas diagnosticadas gestantes, el día 45 posinseminación, pierde la gestación en los siguientes meses. La principal causa de abortos es de naturaleza infecciosa y en este libro se abordarán, de manera breve, cuatro enfermedades que los ocasionan. (FIGURA VI-32).

6.4.1 Brucelosis

La brucelosis bovina es una enfermedad causada por *Brucella abortus*. En América, México ocupa el segundo lugar, en el número de casos en humanos, en padecer esta zoonosis. La *Brucella abortus* es una bacteria intracelular que se transmite por el contacto de las

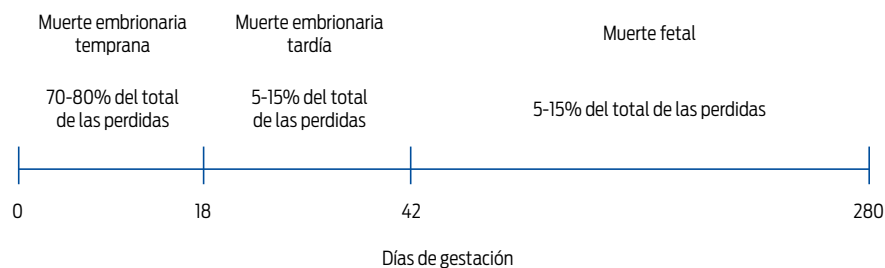


FIGURA VI-31. Terminología utilizada para las pérdidas de gestaciones en la vaca.

mucosas con fetos abortados, placentas y con fluidos genitales eliminados después del aborto. Los fluidos uterinos posaborto contienen concentraciones de bacterias superiores a la dosis infectante. Aunque la bacteria puede estar en las instalaciones, la transmisión por este medio tiene importancia epizootológica menor. Después del contagio, la bacteria se localiza en los nódulos linfáticos regionales, seguido de bacteremia y del establecimiento de la bacteria en la placenta. La infección en una vaca susceptible provoca aborto o el nacimiento de becerros débiles. El aborto ocurre normalmente en el tercer trimestre de la gestación; el feto presenta autólisis mínima y hay retención de la placenta. La bacteria se puede localizar en la ubre y ocasionar una leve mastitis, a su vez las crías pueden contagiarse por el consumo de leche de vacas infectadas. Aunque el toro se puede infectar, la transmisión venérea no es de importancia epizootológica.

La vacunación es la herramienta más importante para el control y erradicación de la brucelosis. Las vacunas RB51 y Cepa19 son preparaciones eficaces para prevenir la enfermedad; la desventaja de la Cepa19 radica en que se deben realizar pruebas diagnósticas adicionales para poder diferenciar entre una infección natural o una respuesta vacunal. En 1996 se comenzó a utilizar en Estados Unidos la RB51 debido a la baja prevalencia de la enfermedad y a la seriedad de sus programas de erradicación, ya que el uso de la RB51 facilita la diferenciación de los animales enfermos de los vacunados. La norma mexicana permite el uso de ambas vacunas, su elección depende del programa que el veterinario aplique. Los expertos recomiendan que en países con prevalencia alta y con programas de control marginales, como México, la vacuna de elección es la Cepa19, porque proporciona protección ligeramente mayor. Es muy importante no suspender la vacunación

FIGURA VI-32. De 20 a 25 por ciento de las vacas diagnosticadas gestantes el día 45 posinseminación pierden la gestación en los siguientes meses.



sólo porque se alcanzó una prevalencia baja, la experiencia demuestra que cuando esto se ha hecho hay un resurgimiento de la enfermedad. El programa elemental de control consiste en: vacunación con RB51 o con Cepa 19 con dosis completa en becerras (RB51 de 4 a 12 meses o Cepa19 de 3 a 6 meses de edad) y media dosis en vacas adultas (la correspondiente RB51 o Cepa19). En regiones con prevalencia mayor de 10 por ciento, casi todo México, las becerras vacunadas se deben revacunar con media dosis por única vez, a partir de los 22 meses. La vacuna no tiene efectos secundarios, aunque algunos veterinarios han registrado disminución de la producción de leche y ocasionalmente abortos. Los machos no se vacunan debido a que no tienen un papel importante en la transmisión de la enfermedad. La vacunación por sí sola no es suficiente para el control de la brucelosis bovina, son necesarias otras disposiciones como la identificación y separación de los animales positivos y medidas elementales de bioseguridad.

6.4.2 Diarrea viral bovina (DVB)

La diarrea viral bovina (DVB) es una enfermedad causada por un pestivirus (RNA). En los hatos lecheros la prevalencia serológica fluctúa entre 40 a 90 por ciento; se estima que ocasiona pérdidas similares a las provocadas por mastitis. De acuerdo con el efecto que el virus tiene en cultivo de tejidos, se reconocen dos biotipos: citopático y no citopático. El virus no citopático constituye 95 por ciento de los aislamientos en campo. Debido a que el virus de la DVB muta con frecuencia, existen variaciones (cepas), lo que determina la diferencia en

el cuadro clínico y el distinto grado de respuesta inmune a las vacunas utilizadas. Los animales afectados muestran diarrea aguda, enfermedad respiratoria, inmunosupresión, síndrome trombocitopénico, infección persistente e infecciones reproductivas. Las consecuencias de las infecciones reproductivas dependen de la etapa reproductiva en que ocurre la infección. La DVB ocasiona inflamación ovárica, inflamación de los folículos, necrosis de las células de la granulosa y del cuerpo lúteo. Durante la oleada folicular, disminuye el tamaño y número de los folículos reclutados, de tal forma que el resultado de la infección ovárica se traduce en infertilidad. La infección durante el desarrollo embrionario temprano ocasiona la muerte del embrión. En vacas seronegativas la infección del feto en el primer trimestre puede ocasionar muerte fetal, aborto, momificación fetal y becerros con tolerancia inmunológica al virus (animales persistentemente infectados). Si la infección ocurre en el segundo trimestre, los becerros nacen con defectos congénitos (hipoplasia cerebelar) y si ocurre en el último trimestre, el feto puede infectarse y nacer con anticuerpos contra el virus de la DVB, los abortos en esta etapa son raros. Los animales persistentemente infectados son la fuente más importante de contagio de la enfermedad, ya que están eliminando constantemente el virus. La mayor parte de los animales persistentemente infectados mueren en el primer año de vida; sin embargo, alrededor de 10 por ciento alcanza la edad adulta convirtiéndose en diseminadores activos del virus. La identificación y eliminación de estos animales es el primer paso para controlar la enfermedad en el hato. No obstante, las técnicas para este propósito son complejas y de difícil acceso en México. Bajo estas circunstancias, la vacunación es la herramienta más práctica para disminuir el impacto de esta enfermedad, ya que se reducen las manifestaciones clínicas, además de prevenir o disminuir las infecciones fetales y mejorar la calidad del calostro. Lo anterior, junto con estrictas medidas de bioseguridad hace posible mitigar el efecto de este virus.

6.4.3 Neosporosis

La neosporosis es una enfermedad ocasionada por *Neospora caninum* (*N. caninum*). Este protozooario fue identificado por primera vez en el perro en 1984 y cinco años después fue asociado con un brote de abortos en un hato lechero de Nuevo México. Desde entonces se considera como la causa más importante de abortos en

el ganado lechero. En México, el primer caso reportado, asociado con este parásito, fue el de un feto abortado en la cuenca lechera de Tizayuca, Hidalgo, en 1997. La seroprevalencia en México es de 36 a 72 por ciento. El perro y algunos cánidos silvestres son huéspedes definitivos mientras que la vaca es un huésped intermediario. El perro se infecta por vía oral y elimina oquistes con capacidad infectante. Aunque el perro es potencialmente transmisor del parásito en la vaca, la vía de infección relacionada con los abortos es principalmente la transplacentaria. En estudios recientes se ha identificado al protozooario en el lumen uterino y en el ovario. De esta forma, la becerra nace infectada y cuando alcanza la edad reproductiva y queda gestante, la infección se reactiva y afecta al feto.

Es posible que la inmunosupresión que padecen las vacas gestantes, a nivel uterino, favorezca el recrudecimiento de la infección. Así, los brotes de abortos se presentarían más por la reactivación de la infección en las vacas crónicamente infectadas, y menos por una infección reciente transmitida por un perro. Los abortos ocurren principalmente del tercero al noveno mes, aunque es más común entre el quinto y el sexto. Es frecuente que los fetos infectados durante el último tercio de la gestación sobrevivan y se conviertan en animales persistentemente infectados, lo que asegura la permanencia de la infección en el hato. En vacas infectadas el riesgo del aborto es mayor en la primera gestación que en las subsiguientes. La vacunación contra *N. caninum* aumenta los títulos de anticuerpos, lo cual disminuye la reactivación de la infección y con ello se reduce el riesgo de aborto. Cabe señalar que la vacunación no evita la transmisión transplacentaria, por tanto la enfermedad persistirá en el hato. No obstante que la causa de los brotes de abortos es por la reactivación de la infección, una medida de bioseguridad es la expulsión de los perros dentro del hato, con ello también se logra mitigar la incidencia de abortos.

6.4.4 Leptospirosis

La leptospirosis bovina comprende un grupo de enfermedades ocasionadas por diversas serovariedades de *Leptospira interrogans*; actualmente es una de las zoonosis más frecuentes a nivel mundial. Existen serovariedades adaptadas a hospederos (reservorios) y no adaptadas (infecciones incidentales), y los diferentes síndromes dependen del tipo de la serovariedad involucrada. La serovariedad



hardjo tipo bovis, es la que posee la mayor prevalencia serológica en hatos bovinos lecheros en México y frecuentemente se ha relacionado con abortos y partos prematuros. Las serovariedades que ocasionan infecciones incidentales, asociadas con abortos, son pomona, canicola, grippotyphosa y bratislava.

En la base del ciclo epizootológico de la leptospirosis se encuentra el animal excretor renal; es decir, aquellos animales portadores crónicos de la bacteria que eliminan ésta, permanentemente, por la orina. La infección se adquiere por contacto de las mucosas (conjuntival, nasal, vaginal y peneana) con orina, secreciones genitales y leche de animales enfermos, además de que también puede haber transmisión transplacentaria. Algunos de los signos de la enfermedad aguda son ictericia, hemoglobinuria, anemia, fiebre y mastitis; sin embargo, los abortos suelen ocurrir generalmente sin signos clínicos de la enfermedad. La infección fetal puede ocasionar aborto (gestaciones de cuatro meses a término) y nacimiento de becerros débiles. Cabe señalar que los abortos provocados por serovariedades adaptadas, ocurren en forma esporádica y es raro que se presenten como tormentas de abortos; sin embargo, las infecciones incidentales sí llegan a provocar abortos con este patrón. Los fetos abortados muestran un grado avanzado de autólisis, están ictericos y edematosos.

El diagnóstico de la enfermedad se establece principalmente por serología. El aislamiento de la bacteria es complicado y poco práctico. En la interpretación de los resultados de la serología se debe considerar el estatus vacunal del hato, ya que es frecuente que en los hatos lecheros se apliquen varias vacunas al año contra diferentes serovariedades de leptospira, lo que aporta, en todos los casos, resultados positivos. Dentro de las medidas de prevención, la vacunación es la estrategia más importante para reducir la eliminación de la bacteria por la orina, y para mitigar las pérdidas de gestaciones. Se recomienda la vacunación en todos los animales jóvenes entre los cinco a seis meses de edad y cada seis meses, la revacunación de los animales adultos. Algunos laboratorios han desarrollado vacunas con serovariedades de leptospira endémicas (autovacunas) en diferentes cuencas lecheras.

6.4.5 Maceración fetal

La maceración fetal es una patología poco frecuente de la gestación en la vaca. Esta patología se caracteriza por la muerte fetal durante la segunda

mitad de la gestación, seguida de contaminación ascendente por bacterias piógenas, retención del feto y persistencia del cuerpo lúteo.

Las vacas con un feto macerado pueden presentar escurrimiento de exudado purulento por vía vaginal. A la palpación rectal se siente un abultamiento del cuerno uterino y crepitación, la cual es provocada por el choque de los huesos.

El pronóstico de estas vacas es reservado, ya que, aun si se llegara a eliminar el feto, los daños provocados al endometrio son severos. No se aconseja tratar a estas vacas, sin embargo, algunos ganaderos insisten en ello. Si esto ocurre, el tratamiento indicado consiste en la administración de una dosis luteolítica de PGF 2α . En algunos casos se llega a eliminar la totalidad del feto, aunque lo más frecuente es que la vaca retenga partes óseas del mismo. Cabe señalar que las vacas pueden conservar al feto o parte de él, sin tener un cuerpo lúteo funcional (FIGURA VI-33).

6.4.6 Momificación fetal

Esta patología se caracteriza por la muerte fetal entre el tercero y octavo mes de gestación, seguida de autólisis, reabsorción de los fluidos, retención del feto y persistencia del cuerpo lúteo.

El tratamiento consiste en la administración de una dosis luteolítica de PGF 2α . Posterior a la luteólisis, el feto es eliminado, pero algunas vacas llegan a retenerlo, por lo cual son eliminadas del hato. La fertilidad después del tratamiento es normal, no así en el caso de maceración, en la que el endometrio ha sido dañado (FIGURA VI-34).

6.5 Numeralia

- En los últimos 30 años el porcentaje de concepción ha disminuido alrededor de un punto porcentual cada año.
- El porcentaje de ovocitos fertilizados es de 80 a 90 por ciento.
- El porcentaje de vacas gestantes en el día 40 posinseminación es de 30 a 35 por ciento.
- La tasa de preñez promedio en los hatos lecheros de Norteamérica es de 15 por ciento. Este número indica que, de las vacas elegibles para inseminarse, sólo 15 por ciento queda gestante en un periodo de 21 días (duración del ciclo estral).
- Una tasa de preñez aceptable es de 21 por ciento.
- La meta para los días en leche promedio del hato es de 160 a 170 días.



FIGURA VI-33. Feto macerado en una vaca lechera.

- Los hatos comerciales tienen más de 200 días en leche.
- En las vacas en lactación el porcentaje de concepción es de 30 a 35 por ciento mientras que en las vaquillas es de 65 a 70 por ciento.
- La pérdida de gestaciones después del diagnóstico de gestación, es de 20 a 30 por ciento en las vacas en lactación, mientras que en las vaquillas es de cinco por ciento.
- En las vacas en lactación la concentración máxima de progesterona es de 5.6 ng/mL, mientras que en las vaquillas es de 7.3 ng/mL.
- La mayor proporción de las pérdidas embrionarias ocurren en los primeros 18 días posinseminación.
- Dietas con más de 18 por ciento de proteína cruda disminuyen el porcentaje de concepción.
- El estrés calórico disminuye hasta 50 por ciento el porcentaje de concepción (invierno=30 por ciento vs. verano= 15 por ciento).
- En las vacas en estrés calórico la temperatura corporal es de 39.5 a 41.5°C.
- El estrés calórico afecta a los embriones principalmente en los primeros siete días de desarrollo.
- De 5 a 20 por ciento de las vacas inseminadas tienen concentraciones de progesterona mayores de 1 ng/mL al momento del servicio.
- Las vacas que ganan condición corporal en los siguientes 30 días posinseminación tienen un porcentaje de concepción del doble que las vacas que pierden condición corporal.
- Vacas que padecieron mastitis en los siguientes 30 a 40 días posinseminación tuvieron mayor riesgo de perder la gestación.



FIGURA VI-34. La momificación fetal se caracteriza por la muerte fetal entre el tercero y octavo mes de gestación, seguida de autólisis, reabsorción de los fluidos, retención del feto y persistencia del cuerpo lúteo.

- La inyección de 500 mg de bST al momento de la inseminación, en vacas repetidoras, incrementa el porcentaje de concepción.
- La administración de 3500 UI de hCG en el día 5 posinseminación aumenta 10 por ciento la proporción de vacas gestantes.

6.6 Literatura recomendada

- Bell A, O.A. Rodríguez , L.A. de Castro e Paula, M.B. Padua, J. Hernández-Cerón, C.G. Gutiérrez, A. De Vries, P.J. Hansen. Pregnancy success of lactating Holstein cows after a single administration of a sustained-release formulation of recombinant bovine somatotropin. *BMC Veterinary Research* 2008, 4:22.
- Cerri R, Rutigliano HM, Chebel RC, Santos JEP. Period of dominance of the ovulatory follicle influences embryo quality in lactating dairy cows. *Reproduction* 2009; 137:813–823.
- Chagas LM, Bass JJ, Blache D, Burke CR, Kay JK, Lindsay DR, Lucy MC, Martin GB, Meier S, Rhodes FM, Roche JR, Thatcher WW, Webb R. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. *J Dairy Sci* 2007;90:4022-4032.
- De Rensis, F., and R. J. Scaramuzzi, 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – a review. *Theriogenology* 60: 1139-1151.

- | Diskin MG, Morris DG. Embryonic and Early Foetal Losses in Cattle and Other Ruminants. *Reprod Dom Anim* 2008; 43:260–267.
- | Hansen, P.J., Drost, M., Rivera, R. M., Paula-Lopes, F.F., Al-Katanani, Y.M., Krininger III, C.E., and C.C. Chase, Jr. Adverse impact of the heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 2001; 55: 91-103.
- | Hernández CJ, Morales RS. Falla en la concepción en el ganado lechero: Evaluación de terapias hormonales. *Vet Mex* 2001; 32:279-287.
- | Leroy JLMR, Opsomer G, Van Soom A, Goovaerts IGF, Bols PEJ. Reduced fertility in high-yielding Dairy Cows: Are the oocyte and embryo in danger? Part I. *Reprod Dom Anim* 2008; 43:612-622.
- | Lucy MC. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J Dairy Sci* 2001; 84:1277-1293.
- | Morales-Roura JS, Zarco L, Hernandez-Ceron J, Rodriguez G. Effect of short-term treatment with bovine somatotropin at estrus on conception rate and luteal function of repeat-breeding dairy cows. *Theriogenology* 2001; 55: 1831-1841.
- | Rodríguez COA, Díaz BR, Ortiz GO, Gutiérrez CG, Montaldo H, García C, Hernández Cerón Joel. Porcentaje de concepción al primer servicio en vacas Holstein tratadas con hormona del crecimiento bovina en la inseminación. *Vet Méx*, 2009;40;1-7.
- | Sartori R, Haughian JM, Shaver RD, Rosa GJ, Wiltbank MC. Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. *J Dairy Sci* 2004; 87:905–920.
- | Thatcher WW, Bilby TR, Bartolome JA, Silvestre F, Staples CR, Santos JEP. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology* 2006; 65: 30-44.
- | Urzúa E., C. G. Gutierrez, A Garza., C. Corona, G. Mapes, J. Hernandez-Cerón. Pregnancy success and luteal function of lactating Holstein cows after hCG on day 5 after insemination. *J Dairy Sci*, 2009, 92 suppl. 1:443.
- | Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Chapin LT, Fogwell RL. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1988; 71:1063-1072.
- | Wiltbank M, Lopez H, Sartori R, Sangsritavong S, Gümen A. Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Theriogenology* 2006; 65:17-29.
- | Yániz J, López-Gatiús F, Bech-Sàbat G, García-Ispierto I, Serrano B, Santolaria P. Relationships between milk production, ovarian function and fertility in high-producing dairy herds in north-eastern Spain. *Reprod Domest Anim*. 2008;43 Suppl 4:38-43.



SIETE. REPRODUCCIÓN EN LAS VAQUILLAS LECHERAS

El objetivo primario de la crianza de reemplazos en el ganado lechero es producir una vaquilla que tenga su parto a los dos años de edad (23 a 25 meses) y con un peso de 550 a 580 kg. El manejo reproductivo en las vaquillas, comienza cuando éstas alcanzan 14 o 15 meses de edad y un peso de 350 a 370 kg. La producción de vaquillas debe ser suficiente para sustituir a las vacas que se desechan anualmente (25 a 35 por ciento), y para contribuir con el crecimiento del hato. Se espera que en un hato lechero deba haber una población de animales de reemplazo, desde un día de vida hasta la etapa de vaquilla al parto, que corresponda al menos al 70 por ciento del total de las vacas (FIGURA VII-1).

La producción de vaquillas depende básicamente de tres factores: de la fertilidad de las vacas, es decir, del número de becerros nacidas al año; de la mortalidad durante la crianza y desarrollo; y de

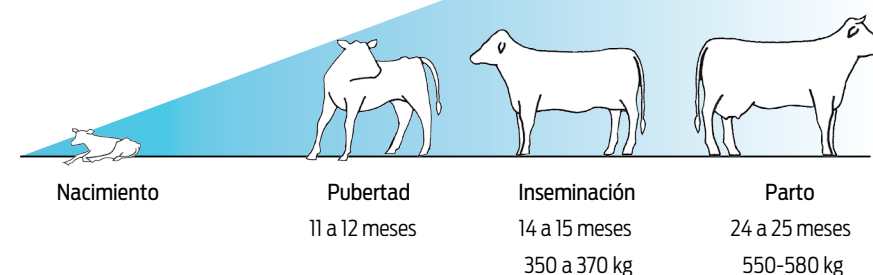


FIGURA VII-1. La meta del programa de producción de reemplazos consiste en tener una vaquilla que llegue a su primer parto a los 24 o 25 meses de edad, entre un peso de 550 a 580 kg.



FIGURA VII-2. El factor más importante que determina la pubertad es la nutrición. Becerras bien alimentadas presentarán ciclos estrales a los 11 meses de edad y deberán ser inseminadas a los 14 o 15 meses de edad, con un peso de 350 a 370 kg.

la eficiencia reproductiva de las vaquillas. El manejo reproductivo moderno de las vaquillas está orientado hacia la utilización de la inseminación artificial, ya sea en un estro natural o sincronizado.

Las vaquillas representan la población animal genéticamente más avanzada en el hato, por tanto el mérito genético de sus crías obtenidas por inseminación es mayor que el de las crías de las vacas adultas. Además, las crías de las vaquillas obtenidas mediante inseminación aceleran el avance genético, ya que contribuyen con una proporción mayor de los reemplazos del hato en comparación con las crías de las vacas de otros grupos de edad. Por otra parte, las vaquillas son las hembras más fértiles del hato (porcentaje de concepción: 60 a 70 por ciento *vs* 30 a 40 por ciento en vacas), por lo que el costo del semen por gestación es menor en comparación con las vacas adultas, lo que permite invertir en mejores toros y en semen sexado.

7.1 Pubertad

La pubertad se define como la etapa del desarrollo en la que la hembra presenta su primer estro fértil. Regularmente las vaquillas lecheras, bajo condiciones óptimas de manejo, llegan a la pubertad entre los 11 y 12 meses de edad; es decir, antes de alcanzar el peso recomendable para recibir el primer servicio. Cabe señalar, que las vaquillas pueden quedar gestantes una vez que han alcanzado la pubertad; sin embargo, esto no es conveniente debido a que aún no han completa-



FIGURA VII-3. El factor que más influye en la edad al primer parto es la baja eficiencia en la detección de estros, por lo cual es recomendable la observación de estros con personal capacitado, en periodos de al menos dos horas por la mañana y dos por la tarde.



FIGURA VII-4. Con observación continua es posible alcanzar 90 por ciento de eficiencia en la detección de estros.

do su desarrollo. De quedar gestantes en los primeros ciclos estrales, las vaquillas podrían llegar al parto con poco desarrollo físico, lo que provocaría distocias y baja producción de leche (FIGURA VII-2).

La activación del sistema neuroendocrino para que la becerra alcance la pubertad está regulada principalmente por el estado nutricional (condición corporal). La transición del anestro prepuberal a la ciclicidad puberal coincide con un incremento de la condición corporal y de las concentraciones de insulina, IGF-I y leptina. Estas hormonas actúan como señales metabólicas en el hipotálamo e hipófisis que modifican la frecuencia de secreción de las gonadotropinas, lo que resulta en la maduración folicular y ovulación.

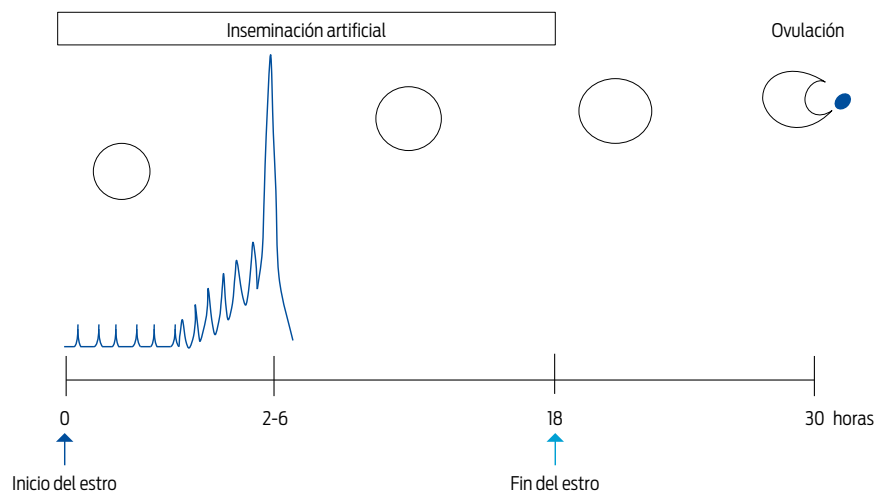


FIGURA VII-5. La inseminación debe realizarse durante el periodo de receptividad sexual. Con buena eficiencia en la detección de estros, la inseminación se puede practicar en el programa AM-PM y PM-AM, o en sólo un turno de inseminación por la mañana (10:00), con buenos resultados.

El retraso a la pubertad está relacionado directamente con deficiencias en la alimentación; dicha condición se observa en hatos poco tecnificados, principalmente de pequeños y medianos productores.

Las vaquillas que ya alcanzaron el peso para recibir el primer servicio y no han presentado estro, se deben examinar por vía rectal para descartar posibles anomalías del desarrollo tales como freemartinismo o hipoplasia genital.

7.2 Detección del estro e inseminación

La baja eficiencia en la detección de estros es el problema que más afecta la eficiencia reproductiva en vaquillas. De acuerdo con la duración del estro (8 a 18 horas), la observación de las vaquillas en periodos de 30 minutos durante la mañana y tarde, permite detectar en estro hasta 70 por ciento de las hembras, mientras que la observación continua (24 horas) aumenta la eficiencia en la detección hasta 95 por ciento (FIGURA VII-3, VII-4).

En el manejo tradicional de los hatos lecheros, las vaquillas reciben poca atención por parte de los trabajadores, lo que resulta

FIGURA VII-6. Una técnica que aumenta la eficiencia en la detección de los estros consiste en pintar con crayón la región de la grupa. Cuando esta pintura desaparece o se nota que las vaquillas están "talladas", se deben palpar por vía rectal para determinar si hay signos genitales de estro.



FIGURA VII-7. Las vaquillas son las hembras más fértiles del hato, por este motivo el costo del semen por gestación es menor en comparación con las vacas adultas, lo cual permite invertir en mejores toros y en semen sexado.



en baja eficiencia en la detección de estros (50 a 60 por ciento). A diferencia de las vacas adultas en lactación, las vaquillas están menos expuestas a factores que disminuyen la expresión del estro, por tanto, con una rutina de observación, de al menos dos horas en la mañana (seis a ocho horas) y dos por la tarde (17 a 19 horas), se puede detectar hasta 90 por ciento de las hembras en estro (FIGURA VII-5).

7.3 Tasa de preñez

El mejor indicador de la eficiencia reproductiva es la tasa de preñez. Dicho indicador se refiere a la proporción de animales gestantes del

total elegible para ser inseminado, en un periodo equivalente a un ciclo estral. Como ya se describió en el Capítulo 2, este indicador considera la eficiencia en la detección de estros y el porcentaje de concepción, y refleja con mayor objetividad la eficacia del manejo reproductivo. Este parámetro se puede mejorar mediante un aumento de la proporción de vaquillas detectadas en estro, lo cual se consigue aumentando en tiempo de observación y aplicando técnicas de sincronización del estro (FIGURA VII-6).

7.4 Inseminación de vaquillas con semen sexado

La utilización de semen sexado es una buena opción para la producción de vaquillas de reemplazo. Con la nueva tecnología disponible para la separación de espermatozoides con el cromosoma x, se puede lograr hasta 90 por ciento de crías hembra; sin embargo, el proceso de separación de espermatozoides tiene baja eficiencia, lo que limita el número de espermatozoides por pajilla. Las pajillas de inseminación con semen sexado contienen de dos a tres millones de espermatozoides (dosis de semen no sexado tienen de 20 a 30 millones). De acuerdo con los datos de fertilidad de hatos comerciales, las vaquillas inseminadas con semen sexado muestran de 10 a 20 por ciento menor concepción que las vaquillas inseminadas con semen no sexado, lo cual desalienta su uso. Las causas de la baja fertilidad no se conocen, sin embargo, están asociadas con la menor concentración espermática y con algunos daños en los espermatozoides provocados por el proceso de separación. No obstante, el uso de semen sexado es una opción viable para aumentar la producción de vaquillas en el hato, y con el mejoramiento de los procesos de separación espermática en poco tiempo se convertirá en una práctica rutinaria en los establos (FIGURA VII-7).

7.5 Montaje directo

La monta directa es una opción práctica y eficaz para gestar a las vaquillas. En este sistema se introduce un toro con el grupo de vaquillas, para que él se encargue de encontrar a las hembras en estro y dar la monta. Sin embargo, con este manejo se pierde la oportunidad de utilizar la inseminación artificial y, con ello, la posibilidad de mejorar genéticamente.

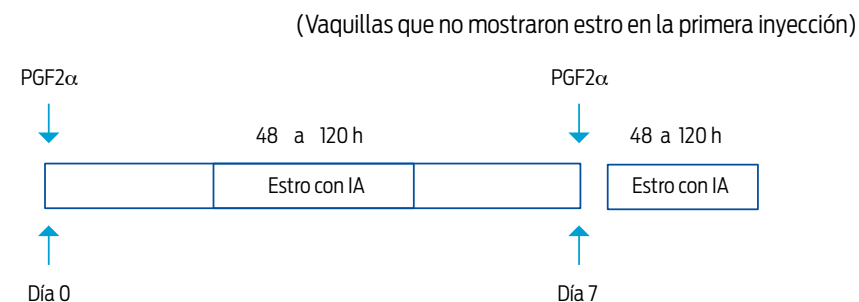


FIGURA VII-8. Sincronización del estro con doble inyección de PGF2 α con siete días de diferencia.

7.6 Programas de sincronización de estros

Los tratamientos para sincronizar el estro en vaquillas tienen los mismos fundamentos que en las vacas.

7.6.1 Prostaglandina F2 α

La PGF2 α se utiliza para la sincronización de estros en grupos de vaquillas, y también se utiliza para la inducción del estro en forma individual, en aquellas hembras que se examinan por vía rectal y tienen un cuerpo lúteo. La respuesta de los animales tratados es variable; en vaquillas se puede lograr hasta un 95 por ciento de animales en estro. El tiempo de presentación del estro después de la inyección es de 48 a 120 horas.

7.6.1.1 Doble inyección de PGF2 α

Además de la sincronización de los animales seleccionados por la presencia de un cuerpo lúteo diagnosticado mediante palpación rectal, hay dos programas que no incluyen la palpación rectal. El lunes, o el día preferido, se inyecta PGF2 α a todas las vaquillas que se desea inseminar. Alrededor de 50 por ciento de las vaquillas presentarán estro en los siguientes 48 a 120 horas. Las hembras que no muestren estro recibirán una segunda inyección el siguiente lunes (siete días de intervalo). Las que presentaron estro con la primera inyección tenían un cuerpo lúteo en ese momento mientras que las que no lo hicieron estaban en estro o en metaestro; así, al repetir el tratamiento siete días después, estas últimas vaquillas tendrían un cuerpo lúteo y

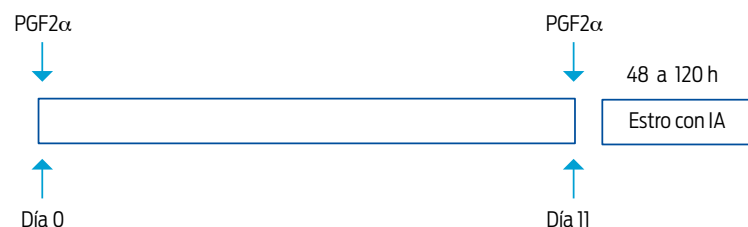


FIGURA VII-9. Sincronización del estro con doble inyección de PGF2α con 11 días de diferencia.

responderían a la PGF2α (FIGURA VII-8). En el otro programa se administran dos dosis de PGF2α con 11 días de separación. Las vaquillas se pueden inseminar en el estro observado, después de cualquiera de las dos inyecciones. Este programa ofrece muy buena sincronización después de la segunda inyección y es el programa de elección en la sincronización de las vaquillas receptoras de embriones, (FIGURA VII-9).

7.6.2 Progestágenos

Existe un tratamiento que consiste en la inserción, en la parte externa de la oreja, de un implante que contiene norgestomet, el cual permanece por nueve días. Además, el tratamiento se complementa con la inyección intramuscular de valerato de estradiol y norgestomet, al momento de poner el implante. El tiempo de presentación del estro a partir de retirar el implante, es de 48 a 72 horas y la proporción de animales en estro con frecuencia llega a ser mayor de 80 por ciento.

Otro tratamiento se basa en la inserción intravaginal de dispositivos liberadores de progesterona. El dispositivo puede utilizarse durante 12 días o se puede acortar el periodo de tratamiento, siempre y cuando se acompañe con la inyección de una dosis luteolítica de PGF2α, un día antes o al momento de retirar el dispositivo.

La fertilidad global lograda después del servicio en el estro sincronizado es similar a la obtenida en el estro natural; sin embargo, algunas vaquillas son menos fértiles, lo cual se asocia con alteraciones en el desarrollo folicular y con cambios en la relación temporal entre el estro y la ovulación.

Se ha observado que el tratamiento con implantes de norgestomet combinados con la inyección de valerato de estradiol puede inducir conducta estral en animales que no están ciclando. Esto se

debe a que los niveles de estradiol, administrado el primer día, persisten hasta el momento de retirar el implante. Así, al quitar la fuente del progestágeno y al haber concentraciones altas de estradiol se desencadena el estro, el cual en vaquillas anéstricas no es acompañado de ovulación, mientras que en vaquillas ciclando se altera la relación temporal entre el estro, pico preovulatorio de LH y ovulación. Se logran buenos resultados cuando no se administra el valerato de estradiol y se sustituye por una inyección de PGF2α, al momento de retirar el implante.

Otro de los factores que se han asociado con baja fertilidad es el día del ciclo en que comienza el tratamiento. Se ha observado que cuando coincide con la presencia de un cuerpo lúteo (diestro), el porcentaje de concepción es mayor que cuando no hay un cuerpo lúteo (proestro). Esto ocurre debido a que la concentración sérica del progestágeno, por sí sola, no es capaz de suprimir la secreción pulsátil de LH, lo que provoca que el folículo dominante presente al momento de iniciar el tratamiento no sufra atresia y persista hasta el día del retiro del progestágeno, convirtiéndose en el folículo ovulatorio. Para ese entonces, el folículo ya envejeció y el ovocito ya sufrió alteraciones que reducen su potencial para desarrollar un embrión viable.

Cuando el tratamiento coincide con la presencia de un cuerpo lúteo, la secreción de LH se suprime eficazmente debido al efecto aditivo de la progesterona secretada por el cuerpo lúteo y del progestágeno exógeno, lo cual provoca el recambio folicular. En condiciones de campo, la selección de las vacas por la presencia de un cuerpo lúteo antes de iniciar el tratamiento con progestágenos es impráctica, además no tendría sentido, ya que sería más fácil tratar a estos animales con PGF2α. Actualmente se cuenta con tratamientos para eliminar los folículos dominantes y así promover una nueva oleada folicular.

7.6.3 Progestágenos orales

El acetato de melengestrol (MGA) es un progestágeno que se administra por vía oral. En las hembras bovinas se utiliza para mejorar la eficiencia alimenticia en los corrales de engorda, lo cual se logra mediante la inhibición de la presentación del estro. Como todos los progestágenos, el MGA inhibe la secreción de la LH, con lo cual se suprime la maduración del folículo y la ovulación. Después de retirar

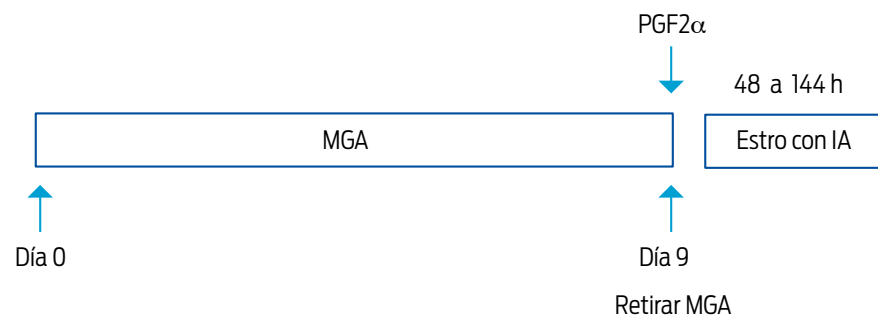


FIGURA VII-10. Programa de sincronización del estro con Acetato de Melengestrol.

el MGA, el folículo dominante termina su desarrollo y las hembras presentan estro en forma sincronizada. La dosis de MGA por vaquilla es de 0.5 a 1 mg al día, en tratamientos que van de 9 a 14 días. La presentación comercial de MGA contiene 0.22 mg de la hormona por 1 g del producto.

El MGA se puede mezclar fácilmente con cualquier concentrado o grano molido. Después del último día de tratamiento, el estro se presenta de dos a seis días. El intervalo del retiro del MGA al estro es más largo si se compara con otros progestágenos. Esto obedece al tiempo de eliminación del MGA, ya que mientras un implante o un dispositivo intravaginal se retiran en forma abrupta, el MGA puede continuar absorbiéndose mientras se elimina del tracto gastrointestinal.

Con tratamientos de 14 días se pueden tener porcentajes de concepción menores en comparación con el estro natural, lo cual se debe en gran parte a la ovulación de folículos persistentes. Un tratamiento eficaz, que además mejora la fertilidad, consiste en la administración de MGA durante 14 días seguido de una inyección de PGF2 α , 15 o 17 días después del retiro del progestágeno. Con este programa, una alta proporción de las hembras tendría un cuerpo lúteo al momento de la inyección de la PGF2 α y presentará el estro con buena sincronización.

Otro tratamiento efectivo consiste en la administración de MGA durante nueve días, más una dosis de PGF2 α al día nueve, con este programa también se obtienen buenos resultados en sincro-

FIGURA VII-11. Las vaquillas que tienen la edad y peso para que se integren al programa reproductivo y no muestren signos de estro, se deben revisar por vía rectal para diagnosticar la causa del anestro.



nización del estro y fertilidad. Este tratamiento se ha evaluado con vaquillas Holstein y el porcentaje de hembras sincronizadas es alto (95 por ciento). El porcentaje de concepción es similar al obtenido en el estro natural. Estos resultados son comparables a los logrados con otros programas tales como implantes de norgestomet o dispositivos intravaginales liberadores de progesterona, pero con un costo significativamente menor (FIGURA VII-10).

7.6.4 Sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo

En contraste con lo observado en vacas en lactación, la respuesta de las vaquillas a los programas de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo es pobre, lo cual se refleja en porcentajes de concepción de 20 a 35 por ciento menores que las vaquillas inseminadas en el estro natural. La causa de dicha respuesta está relacionada con diferencias en el desarrollo folicular; así, en las vaquillas el tiempo de desarrollo del folículo dominante es más rápido y el tiempo que ejerce dominancia es más corto que en las vacas en lactación. De esta forma, el folículo de la oleada folicular sincronizada con la inyección de GnRH sufre atresia antes de la inyección de la PGF2 α , de tal manera que cuando se induce la ovulación con la segunda inyección de GnRH, las vaquillas tienen folículos en diferente etapa de desarrollo, lo que provoca la asincronía entre la ovulación y la inseminación artificial.

7.7 Manejo del anestro

Una vez que las vaquillas han llegado a la pubertad, presentan ciclos estrales a intervalos de 21 días y sólo son interrumpidos por la gestación o por alguna patología. El anestro patológico es poco frecuente en las vaquillas; sin embargo, llegan a presentarse casos de piometra y quistes luteinizados, los cuales se tratan con una dosis de PGF2 α . También se llegan a observar anomalías del desarrollo, tales como freemartinismo e hipoplasia genital, patologías que no tienen tratamiento.

El anestro funcional (las vaquillas muestran estro, pero no son detectadas) es frecuente y está relacionado directamente con la eficiencia en la detección de estros. Las vaquillas que tienen la edad y peso para que se integren al programa reproductivo y no muestren signos de estro, se deben examinar por vía rectal para diagnosticar la causa del anestro. Si en la palpación rectal las vaquillas tienen un cuerpo lúteo se tratan en ese momento con PGF2 α , los animales que no tienen cuerpo lúteo pueden recibir una inyección de PGF2 α , siete días después. Con dicho programa se sincroniza el estro y aumenta la probabilidad de detectarlo (FIGURA VII-11).

7.8 Manejo de la vaquilla infértil

La fertilidad en las vacas lecheras ha disminuido en los últimos 30 años mientras que la fertilidad en las vaquillas no ha cambiado; después de la primera inseminación gestan entre 60 y 70 por ciento. La meta del programa reproductivo es lograr que el 90 por ciento de las vaquillas geste en los primeros tres servicios. De esta forma, dicha proporción de animales pariría antes de los 25 meses de edad. Es común que 10 por ciento de las vaquillas se conviertan en animales repetidores, es decir, vaquillas con más de tres servicios infértiles.

La causa de la falla en la concepción en vaquillas se debe principalmente a la muerte embrionaria temprana. Una causa importante de la falla en la concepción en las vaquillas repetidoras son las patologías adquiridas en el aparato reproductor; es común encontrar adherencias ováricas y salpingitis. Probablemente dichos problemas son consecuencia de alguna infección durante la crianza.

Se han intentado diversos tratamientos hormonales para resolver el problema de infertilidad en las vaquillas repetidoras y los

resultados son pobres. Debido a que dichos tratamientos no muestran resultados consistentes, la mejor forma de mitigar el problema de infertilidad en las vaquillas es mediante el mejoramiento de las prácticas de inseminación; es decir, momento de la inseminación, manejo del semen y técnica de inseminación. Por otra parte, la mejor técnica para aumentar la proporción de vaquillas gestantes en el hato es mediante un incremento de la eficiencia de la detección de estros.

7.9 Numeralia

- Las vaquillas deben parir a los dos años de edad (23 a 25 meses).
- El peso al parto debe ser de 550 a 580 kg.
- El manejo reproductivo comienza a los 14 o 15 meses de edad, con un peso de 350 a 370 kg.
- Las pajillas de semen sexado contienen de 2 a 3 millones de espermatozoides
- Las dosis de semen no sexado contienen de 20 a 30 millones.
- El porcentaje de concepción de las vaquillas inseminadas con semen sexado es de 10 a 20 por ciento menor que con semen no sexado.
- Con semen sexado se obtiene 95 por ciento de hembras.
- El porcentaje de concepción con programas IATF es de 20 a 35 por ciento menor que en las vaquillas inseminadas en el estro natural.
- Noventa por ciento de las vaquillas debe quedar gestantes en los primeros tres servicios.
- Se deben producir vaquillas para sustituir a las vacas que se desechan anualmente (25 a 35%).
- Se espera que en un hato lechero deba haber una población de animales de reemplazo, desde un día de vida hasta la etapa de vaquilla al parto, que corresponda al menos al 70 por ciento del total de las vacas.

7.10 Literatura recomendada

- Brickell J.S., M.M. McGowan, D.C. Wathes. Effect of management factors and blood metabolites during the rearing period on growth in dairy heifers on UK farms. *Domestic Animal Endocrinology* 36 (2009) 67–81.



- De Vries A, Overton M, Fetrow J, Leslie K, Eicker S, Rogers G. Exploring the Impact of Sexed Semen on the Structure of the Dairy Industry. *J Dairy Sci* 2008; 91:847–856.
- Galina CS y Valencia MJ, editores. Reproducción de los animales domésticos. 3a ed. México (DF): Limusa, 2008.
- Heinrichs AJ. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *J Dairy Sci* 1993;76:3179–3187.
- Hoffman PC. Optimum body size of Holstein replacement heifers. *J Anim Sci* 1997; 75:836-845.
- Larson RL, Randle RF. Heifer development: nutrition, health, and reproduction. In: Youngquist RS, Threlfall WR editors. *Large Animal Theriogenology 2*. St. Louis, Missouri: Saunders, 2007:457-463.

A

aborto 70, 92, 143, 144, 146, 147, 148
 acetato de melengestrol 163
 acrosina 62
 adherencias 88, 90, 137, 138, 140, 166
 andrógenos 21
 anestro 18, 19, 20, 74, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 109, 124, 130, 137, 157, 165, 166
 aplasia segmentaria 99, 137
Arcanobacterium pyogenes 85
 atresia 21, 23, 52, 136, 163, 165

B

balance energético negativo 81, 95, 117, 119, 120, 124
 bioestimulación 18
 Blastulación 64
Brucella abortus 143
 bST 38, 141, 142, 143, 151

C

capacitación 59, 62, 69
 carúnculas 68, 79, 81, 83
 cefapirina 89
 Cepa 19 145
 cérvix 27, 33, 60, 80, 87, 91, 92, 132, 137
 Chin ball 43, 44
 ciclo estral 22, 27, 29, 31, 32, 36, 41, 45, 47, 50, 52, 54, 59, 60, 65, 72, 80, 91, 98, 99, 103, 107, 111, 134, 149, 160
 cigoto 59, 61, 63, 64

ÍNDICE ANALÍTICO

condición corporal 18, 19, 45, 66, 72, 73, 74, 75, 76, 90, 95, 96, 97, 107, 108, 116, 132, 133, 150, 157
 cortisol 133
 crayoneo 44, 55
 cuerpo hemorrágico 22, 29, 30, 104, 107
 cuerpo lúteo 17, 21, 24, 26, 28, 30, 32, 46, 47, 49, 56, 66, 91, 92, 97, 98, 100, 103, 105, 107, 108, 117, 119, 139, 140, 142, 146, 149, 151, 161, 163, 164, 166
 cúmulus 61

D

desarrollo folicular 21, 30, 103, 108, 109, 122, 124, 132, 141, 162, 165, 169
 detección de estros 33, 36, 37, 38, 39, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 55, 56, 57, 102, 112, 129, 157, 158, 159, 160, 166, 167
 diagnóstico de gestación 36, 37, 64, 68, 70, 111, 112, 132, 133, 150
 diarrea viral bovina 145
 días abiertos 88, 113, 114, 134
 días en leche 113, 114, 117, 142, 149, 150
 diestro 17, 25, 30, 31, 47, 48, 49, 50, 52, 54, 71, 80, 103, 107, 163, 170
 dominancia folicular 22

E

eCG 108, 109, 170
 ecografía 53, 70, 71, 102, 109
 embrión 20, 22, 27, 59, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 76, 111, 118, 127, 128, 129, 134, 135,

140, 141, 143, 146, 163

endometrio 17, 28, 29, 30, 32, 65, 66, 67, 68, 72, 76, 79, 81, 83, 84, 88, 89, 90, 92, 93, 108, 134, 149

endometritis 74, 81, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 134

endometritis subclínica 81, 88, 93, 134

Escherichia coli 85

espermatozoides 59, 60, 61, 62, 75, 76, 128, 130, 160, 167

estrés calórico 40, 66, 101, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 133, 150

estrés oxidativo 127

estrogeno 17, 19, 20, 28, 31, 33, 35, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 50, 53, 55, 56, 57, 60, 64, 66, 68, 72, 79, 80, 102, 104, 107, 109, 111, 112, 119, 123, 128, 130, 133, 139, 143, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 167

estrógenos 18, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 36, 38, 39, 67, 80, 84, 88, 90, 101, 138, 139

F

feromonas 17, 18

fertilización 20, 59, 60, 61, 64, 67, 76, 128, 129, 130, 136

feto 63, 64, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 82, 92, 143, 144, 146, 147, 149, 150, 151

flujo hepático 38, 120

foliculares 21, 22, 30, 31, 32, 50, 53, 54, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 105, 109, 118, 134, 135, 139

fotoperiodo 18

FSH 17, 20, 21, 23, 24, 30, 31, 51, 52, 95, 108, 109, 134

Fusobacterium necrophorum 85

G

glándula pineal 18

GnRH 17, 18, 19, 20, 24, 26, 33, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 95, 97, 100, 101, 105, 107, 109, 132, 140, 141, 165

gospol 121

granulosa 20, 21, 26, 61, 146

H

hCG 26, 52, 100, 101, 105, 139, 140, 141, 142, 151, 152

heat watch 43, 44

hialuronidasa 62

hidrosalpinx 138

hipotálamo 17, 18, 19, 20, 33, 97, 98, 100, 101, 132, 157

I

IGF-I 18, 19, 96, 97, 132, 141, 142, 157

inhibina 18, 20, 21, 52

inseminación artificial 49, 50, 53, 54, 128, 156, 160, 165

inseminación a tiempo fijo 49, 50, 53, 56, 57, 71, 101, 102, 116, 130, 165

insulina 18, 19, 96, 97, 132, 157

interferón- τ 59, 65, 66, 76, 118, 123

intervalo entre partos 113, 114, 115, 136

involución uterina 72, 74, 79, 80, 81, 83, 86, 90, 91, 107

K

Kisspeptina 19

K-mar 42

L

lactógeno placentario 67

leche uterina 67, 171

leptina 18, 19, 97, 132, 157

Leptospira interrogans 147

LH 17, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 31, 32, 35, 38, 52, 54, 55, 61, 62, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 105, 108, 133, 163

loquios 79

luteinización 24, 26, 51, 52, 54, 56, 100,

101, 105, 139, 141

luteólisis 17, 22, 28, 32, 53, 65, 66, 133, 149

M

Maceración fetal 148

mastitis 74, 132, 133, 144, 145, 148, 151

melatonina 18

metabolismo hepático 23, 66

metaestro 17, 28, 29, 30, 31, 104, 107, 161

metritis 74, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93

metritis puerperal 81, 85, 89

moco cervical 27, 36, 60, 104, 107

momificación fetal 70, 99, 146, 149, 151

mórula 63, 64, 123

muerte embrionaria 44, 45, 62, 72, 102, 112, 129, 130, 138, 141, 143, 166

muerte fetal 143, 146, 148, 149, 151

Müller, conductos 136

N

nadir 96, 109

Neospora caninum 146

norgestomet 55, 162, 165

O

oleada folicular 21, 23, 24, 32, 51, 52, 54, 95, 134, 146, 163, 165

ovario 17, 20, 22, 29, 101, 103, 104, 105, 107, 136, 137, 138, 147

oviductos 88, 90

ovocito 20, 21, 26, 61, 62, 128, 132, 138, 163

ovulación 17, 19, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 38, 47, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 60, 62, 65, 67, 71, 76, 88, 95, 97, 98, 101, 107, 108, 109, 115, 117, 119, 128, 133, 136, 138, 140, 141, 142, 157, 162, 164, 165

oxitetraciclina 89

oxitocina 28, 60, 79, 84

P

parto 44, 45, 67, 72, 74, 75, 76, 79, 81, 84, 87, 90, 91, 92, 94, 95, 97, 99, 105, 109, 113, 115, 117, 118, 128, 155, 157, 167

periodo de transición 73, 74, 75, 76, 116

periodo voluntario de espera 44, 45, 46, 79, 102

PGF2 α 17, 22, 26, 27, 29, 30, 32, 48, 50, 53, 54, 56, 57, 59, 65, 66, 76, 86, 90, 92, 100, 101, 116, 133, 137, 149, 161, 164, 166

piometra 91, 92, 99, 166

piosalpinx 138

placentoma 68

podómetro 40, 41, 42

polispermia 62, 76, 130

porcentaje de concepción 22, 45, 46, 57, 64, 81, 87, 88, 107, 111, 112, 117, 119, 121, 122, 132, 134, 135, 138, 140, 142, 143, 149, 150, 151, 156, 160, 163, 165, 167

porcentaje de desechos 88

porcentaje de vacas gestantes 45, 47, 94, 112, 113, 114, 149

Porcentaje de vacas secas 114

proestro 19, 20, 31, 80, 104, 108, 163

progéstágenos 47, 53, 55, 108, 109, 162, 163, 164

progesterona 18, 19, 20, 23, 27, 28, 30, 32, 49, 52, 55, 57, 65, 67, 72, 76, 80, 91, 98, 107, 109, 118, 130, 134, 139, 150, 162, 163, 165

pronúcleo 62

Proteína B específica de la gestación 71

pubertad 98, 156, 157, 158, 166

puerperio 45, 72, 74, 79, 81, 84, 88, 90, 93, 117, 118, 128

Q

quistes ováricos 74

R

RB51 144, 145

reacción acrosomal 62
reclutamiento folicular 51, 52
reconocimiento materno de la gestación
59, 65, 66, 111, 141
retención placentaria 74, 81, 82, 85, 86, 90,
91, 93
retroalimentación 19, 20, 98, 100, 101

S

salpingitis 90, 137, 138, 166
semen 128, 132, 156, 159, 160, 167, 168
semen sexado 156, 159, 160, 167
sincronización 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53,
54, 55, 56, 57, 71, 101, 109, 116, 160, 161,
162, 164, 165
sombras 124

T

tasa de preñez 45, 46, 47, 57, 91, 109, 111,
112, 149, 159
teca interna 20, 26
tetraciclina 89
trofoblasto 65, 67, 71

U

útero 22, 27, 33, 60, 67, 69, 76, 79, 80, 84,
85, 88, 89, 90, 92, 103, 104, 105

V

vaca seca 72
valerato de estradiol 162, 163
Ventilación forzada 126
vesícula amniótica 69
vulva 33, 80, 83

FISIOLOGÍA CLÍNICA DE LA REPRODUCCIÓN DE BOVINOS LECHEROS

Editada por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Se terminó el 10 de enero de 2017
en el Departamento de Diseño Gráfico y Editorial
de la Secretaría de Vinculación y Proyectos Especiales:
edificio 2, planta baja, FMVZ-UNAM.
Avenida Universidad No. 3000, Ciudad Universitaria,
Coyoacán, 04510, Ciudad de México; tel: 5622 5909.
Formación y composición tipográfica
en tipo Warnock Pro 10 puntos
y Antenna Condensed 13 puntos.
Medio electrónico.
Capacidad: 15.2 MB
Formato: PDF
Cuidado de la edición:
Joel Hernández Cerón

