

Comportamiento sexual en reproductores bovinos: Revisión de Literatura

Carlos Bernardo Montes Banegas

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Comportamiento sexual en reproductores bovinos: Revisión de Literatura

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Carlos Bernardo Montes Banegas

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Comportamiento sexual en reproductores bovinos: Revisión de Literatura

Presentado por:

Carlos Bernardo Montes Banegas

Aprobado:


Marielena Moncada (Nov 19, 2020 14:32 CST)

Marielena Moncada, Ph.D.
Asesora Principal



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria


John Hincapié (Nov 19, 2020 15:36 CST)

John Jairo Hincapié, D.Sc.
Asesor



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Comportamiento sexual en reproductores bovinos: Revisión de Literatura

Carlos Bernardo Montes Banegas

Resumen. Este estudio se realizó mediante la revisión de literatura de diversos artículos, documentos de investigación y sitios web acerca del comportamiento reproductivo en ganado lechero y cada uno de los factores que lo afectan. Se considera que este es uno de los factores más importantes sobre un hato ganadero, ya que influye en el funcionamiento general de una finca y sobre todo en la reproducción animal. Asimismo, se considera importante sobre la producción de la finca por el efecto que cause en la actividad hormonal de las hembras lactantes. Los sistemas de reemplazos también juegan un papel muy esencial, ya que el potencial reproductivo de una novilla se basará en la crianza que esta tuvo desde el nacimiento hasta sus inicios en el desempeño reproductivo. En este estudio se determinó también la importancia de otros factores como las condiciones ambientales, tipo de instalaciones, actividad social, actividad hormonal tanto en machos como en hembras, nutrición animal y suplemento de sales minerales y vitaminas. Se determinó que cada factor tiene su efecto significativo sobre la conducta sexual en bovinos, así como también la relación que existe entre cada uno de estos para una reproducción óptima.

Palabras clave: Conducta sexual, desempeño, fisiología, instalaciones, manejo, reproducción.

Abstract. This study was done by the literature reviewing of multiple articles, research documents and websites about reproductive behavior in dairy cattle and each of the factors that affect it. This is considered to be one the most important factors in a cattle herd, since it affects the general operation of a farm and especially in animal reproduction. Likewise, it is considered important on the production of the farm due to the effect it causes on the hormonal activity of lactating females. Replacement systems also play a very essential role, since the reproductive potential of a heifer/steer Will be based on the breeding that it had from birth through its early reproductive stages. This study also determined the importance of other factors such as environmental conditions, types of installations, social activity, hormonal activity in both males and females, animal nutrition and supply of minerals and vitamins. It was determined that each factor has its significant effect on sexual behavior in bovines, as well as the relationship that exists between each of these for an optimal reproduction.

Key words: Installations, management, performance, physiology, reproduction, sexual behavior.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	4
3. DESARROLLO.....	5
4. CONCLUSIONES	15
5. RECOMENDACIONES.....	16
6. LITERATURA CITADA	17

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Edad y peso al primer servicio en las diferentes razas de ganado lechero.....	11
2. Edad y peso a la pubertad en diferentes genotipos bovinos.....	12

1. INTRODUCCIÓN

Se denomina etología al estudio del comportamiento de los animales y sus distintas especies, al igual que la comparación de las diferentes condiciones en las que un animal se pueda encontrar, y si estas son condiciones naturales o modificadas (Linares 2007). En la actualidad, la importancia que tiene el comportamiento animal en un hato ganadero es de un nivel muy alto para la optimización tanto de la reproducción como de la producción. Es importante considerar todos los factores que influyen en los bovinos para que se logre un buen comportamiento sexual en hembras y machos, de los cuales algunos tienen que ver directamente con la genética y otros pueden ser alterados por el medio ambiente (Pineda y McDonald 1991). Por otro lado, esto también define las condiciones óptimas en las que se debe encontrar el animal, basándose en los diferentes tipos de razas y adaptaciones del mismo. Otros de los factores genéticos a tomar en cuenta en la conducta sexual son la observación de la actividad social, apareamiento y la agresividad (Hafez 2002). Todo esto se ve influenciado por la función de las diferentes actividades hormonales, del ciclo estral en hembras y la espermatogénesis en machos. La libido en machos es otro de los factores importantes, esto es la disposición del macho de montar a la hembra, influenciada por esteroides que provocan ciertos cambios en la hembra; esto ayuda a que el macho perciba por medio del olfato el momento de la receptividad sexual (Stabenfeldt *et al.* 2002).

En cuanto al ciclo estral en hembras, cuando estas alcanzan la pubertad, entre los siete y diez meses de edad, pueden comenzar a reproducirse desde el punto de vista fisiológico, ya que sus gametos comienzan a producirse. Por otro lado, su madurez sexual aún no se encuentra en su momento adecuado, esta debe esperar a que sus condiciones sean favorables para la fecundación y desarrollo del feto (Hafez 2002). El ciclo estral es en otras palabras el periodo en el cual se presenta el celo de la vaca, este tiene una duración de 21 días en promedio el cual se divide en cuatro etapas: proestro, estro, metaestro y diestro. En estas etapas actúan las hormonas causantes de los diferentes eventos como la maduración folicular, ovulación, maduración y regresión del cuerpo lúteo.

El estro es la etapa inicial del ciclo estral, con un periodo estimado de 12 a 24 horas en donde ocurre la aceptación a la monta por parte otras hembras (comportamiento homosexual), en la cual actúa el estradiol, siendo esta hormona la responsable de la receptividad sexual (Holy 1983). El metaestro comprende los días dos y tres, es la etapa en la que ha concluido la receptividad sexual causado por el incremento de la progesterona, provocando la maduración del cuerpo lúteo (CL) dando inicio al diestro en el día 4 hasta el día 16; es en donde el CL termina de desarrollarse y mantiene su funcionalidad gracias a los altos niveles progesterona. Seguido de esto, se empieza a observar un desarrollo folicular. Por último, se llega al proestro, etapa que comprende los últimos cuatro días del ciclo, donde ya existe una maduración folicular y comienza la secreción de prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), hormona encargada de producir la lisis del cuerpo lúteo si es que la hembra no está preñada, dando inicio nuevamente al ciclo; de lo contrario, el CL secreta progesterona para dar inicio a la preñez (Stabenfeldt *et al.* 1999).

En el macho, la espermatogénesis comienza igual desde la pubertad, controlada por la glándula pituitaria anterior y regulada por la síntesis de GnRH. La testosterona es la hormona esencial para la conducta sexual y función reproductiva del macho. Uno de los sitios importantes para la biosíntesis de testosterona son las células de Leydig (Haqq y Donahoe 1998). La liberación de

espermatozoides provoca un aumento de secreción de andrógenos y mayor desarrollo de glándulas accesorias, además de la ruptura de adherencias prepuciales y descenso de los testículos (Abelenda 2014).

El macho inicia su comportamiento sexual identificando el estado fisiológico de la hembra, olfateando la parte reproductiva y la orina de esta (Gordon 1999). Las feromonas presentes en la hembra dan estímulo a la libido, por lo que el macho continúa a verificar la receptividad de esta; esto puede provocar una reacción negativa por parte de la hembra. Luego de que el macho percibe la receptividad sexual por parte de la hembra, este procede a la copulación; la cual inicia con una erección y protrusión peneana, monta, introducción del pene y eyaculación (Ungerfeld 2016).

Una vez que el macho ha realizado contacto con la punta del glande y la mucosa vaginal, esto le provoca una contracción pélvica y movimiento de propulsión en las patas traseras seguida de la eyaculación y, por último, un movimiento de la cabeza hacia atrás. El semen es depositado en el fondo vaginal con un volumen relativamente bajo que puede oscilar entre cuatro a 12 mL, y una concentración alta de alrededor de 800 ~ 1,500 millones de espermatozoides por mililitro; lo cual se considera óptimo para un animal adulto con buena fertilidad (Agüero 2012). Luego ocurre la desmonta, el macho permanece en un periodo de latencia, cerca de la hembra y luego se reinicia el mismo comportamiento para interactuar nuevamente con la misma hembra o con otra (Trujillo 2014).

Además de las conductas reproductivas que generan los procesos hormonales, otros de los factores que influyen de manera muy significativa son las condiciones ambientales. La temperatura es la condición que más logra afectar a los reproductores bovinos, de las cuales pueden ocasionar que los sistemas reproductivos tanto en macho como en hembra no actúen según la funcionalidad adecuada. El ciclo estral en hembras, por ejemplo, se podría ver afectado negativamente debido a un cambio brusco de temperaturas, provocando trastornos durante el ciclo estral, alterando la funcionalidad de las hormonas causando deficiencias en el desempeño reproductivo de la vaca. Mismo factor podría ser incluso responsable de ocasionar una infertilidad de las hembras, siendo este el motivo por el cual el personal debe contar con la facilidad de proporcionarle al animal las condiciones óptimas. Por otro lado, el macho sufre de una mala conducta sexual debido al estrés por calor o muy bajas temperaturas, lo cual ocasiona una reducción de la fertilidad por una mala calidad seminal y escasa eyaculación (Nezhad *et al.* 2013). Para disminuir el impacto que provocan las condiciones ambientales es necesario que la finca cuente con instalaciones adecuadas, acondicionada en base a los grupos del hato. Para un buen comportamiento reproductivo también se requiere de un espacio adecuado libre de tensión social y estrés (Hernández y Drescher 2012).

Otro factor importante para el desarrollo tanto productivo como reproductivo es la alimentación de los bovinos. En la actualidad, la nutrición se ha vuelto pieza fundamental para un óptimo desarrollo de estos animales, y es por esto que la nutrición debe ir de la mano junto con todos los aspectos que influyan en la conducta sexual del bovino y también con los requerimientos nutricionales del animal. En las zonas tropicales es donde se da mayormente el problema con la deficiencia nutricional de las pasturas, efecto de las limitaciones climáticas y escasas nutricionales de los suelos, lo que ocasiona una necesidad de brindarles a los animales el suplemento ideal con dietas balanceadas, minerales y vitaminas (Salamanca 2010). Estos componentes se consideran como el

tercer grupo de nutrientes más importante en la producción animal y son necesarios para la transformación de alimentos en resultados positivos reflejados en el animal (Salamanca 2010).

Por ejemplo, un déficit de macroelementos como fósforo (P), cobre (Cu) y cobalto (Co) provocan una caída de los aspectos reproductivos en bovinos (Florez 2004). El desarrollo tanto físico como de madurez sexual se ve influenciado de gran manera por el suministro de sales minerales y vitaminas, además de una balanceada nutrición; así bajo condiciones óptimas de suministro de alimento se logran obtener animales fuertes con la capacidad de manifestar su potencial genético y altas capacidades reproductivas.

En este estudio se resaltó la investigación minuciosa de los factores antes mencionados para lograr realizar un análisis específico acerca de los diferentes comportamientos sexuales en reproductores bovinos. Se realizó también el estudio de las diferentes etapas de la vida reproductiva tanto de la hembra como del macho, es decir, desde su nacimiento hasta su madurez sexual. También se investigó sobre otros factores como la alimentación, los diferentes tipos de sistemas de manejo de un hato y los distintos métodos de reproducción animal utilizados en la actualidad.

El objetivo de esta revisión de literatura fue recopilar información sobre los diferentes factores que afectan el comportamiento sexual de los bovinos y determinar la importancia de cada uno sobre la conducta sexual bovina y la influencia de estos en los parámetros reproductivos.

2. METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo mediante la revisión de literatura acerca del comportamiento sexual bovino y los diferentes subtemas que lo abordan. Se realizaron múltiples búsquedas de información relacionada con la temática en las cuales diversas bases de datos resaltan ciertas instituciones como la Universidad de Zaragoza, en España, la Universidad Central de Venezuela y la Universidad Nacional de Colombia. Distintos artículos de revistas como Mundo Pecuario o “Journal of the Dairy Science” (Revista de la Ciencia Láctea) poseen información muy importante acerca de temas relacionados con la reproducción animal y ganado bovino en general. La búsqueda de información se realizó por medio del uso de palabras clave, entre ellas están: conducta sexual, desempeño, factores ambientales, nutrición, reproducción, manejo, instalaciones y fisiología. El número de referencias que componen esta revisión de literatura es de 65.

3. DESARROLLO

Comportamiento sexual

La conducta sexual es uno de los factores más importantes que influyen en el éxito de la reproducción, esta incluye algunos puntos como el apareamiento, maternidad (en el caso de las hembras) y actividad social (Linares 2007). Uno de los aspectos principales que se debe tomar en cuenta para una óptima conducta sexual en bovinos es el reconocimiento de los hábitos reproductivos tanto en hembras como en machos. Es decir, es importante reconocer la funcionalidad que estos animales obtengan para poder cruzarse entre sí, sus fortalezas y deficiencias.

Comportamiento sexual del macho

Conocer el desempeño reproductivo del macho es importante para un hato ganadero, y asimismo lo es el conocer los factores que mayor relevancia tengan hacia el animal para su buen desempeño reproductivo. Un estudio realizado por Córdova (2017), logró reconocer varios de estos factores como los responsables en provocar trastornos específicamente en la libido, siendo la edad uno de estos, ya que existe la probabilidad de que se obtenga un animal joven sin experiencia o un animal muy viejo que ya no tenga la capacidad de reproducirse, siendo necesario el descarte de este animal del hato. Otro factor es la actividad social pre púber del animal, es decir, el comportamiento social que este tiene con su grupo durante la pubertad; lo cual determinará el comportamiento sexual que este pueda tener en el futuro.

Asimismo, es importante tomar en cuenta que el macho tendrá una mayor preferencia con hembras adultas que presenten un mejor celo. Basado en la actividad social, la aceptación o incluso la dominancia que el animal ha logrado tener en el grupo es significativa para su conducta sexual. En animales adultos experimentados es de gran influencia si las experiencias que ha tenido este sean positivas o negativas (Córdova 2017). Es decir, un macho reproductor tendrá buenos resultados cuando las respuestas por parte de la hembra han sido positivas, de lo contrario, esto afectará de manera negativa la fertilidad. Por otro lado, al momento de la monta siempre es recomendable llevar la hembra donde se encuentre el macho por cuestión de territorio, ya que siendo lo contrario la hembra no permitirá que el macho realice la monta.

Como se mencionó antes, los factores ambientales son de gran influencia para el comportamiento sexual en reproductores. Tanto en machos como en hembras el comportamiento sexual disminuye en climas calurosos o muy fríos. La espermatogénesis es baja debido a la mala calidad espermática y eyaculación producida en este tipo de climas y, por ende, afecta la fertilidad del macho. Las actividades rutinarias que adopta el macho también influyen en la reproducción del hato. En muchas ocasiones, el macho puede preferir un momento específico del día para realizar las montas, tomándolo como una rutina la cual sería muy difícil de cambiar. Por otro lado, la condición corporal (CC) es uno de los factores más importantes, dado que un macho muy delgado tendrá deficiencias sexuales, y de igual forma ocurre con un animal con sobrepeso, ya que este no será capaz siquiera de controlar su cuerpo al querer montar a la hembra (Córdova 2017). Asimismo, se ve reflejada la eficiencia del macho en base a la frecuencia con la que se cruza con las hembras, es decir, si un animal es sobreexplotado presentará un agotamiento. Por el contrario, si este es utilizado con poca

frecuencia presentará mayor agresividad por la producción de testosterona que no está siendo liberada.

Es importante optar por los mejores métodos de manejo para evadir todos estos posibles problemas. En caso de que sea necesario realizar cambios en el ambiente en el que se encuentra el animal, se debe hacer de manera que se logre sentir confortable y, de ser posible, establecer un sitio exclusivo para que el macho realice las montas. En caso de ser un animal sin experiencia, se debe realizar una interacción directa con la hembra en celo de manera que comience a experimentar con las señales enviadas por las feromonas y la receptividad de la hembra, y así lograr el estímulo de la libido. Se deben realizar todas las modificaciones posibles en base al animal con el objetivo de convertirlo en un óptimo macho reproductor (Collier *et al.* 1985).

Comportamiento sexual de la hembra

La importancia de la conducta sexual en la hembra está directamente relacionada con todo el proceso del ciclo estral y la interacción hormonal del mismo. Para clasificar la conducta sexual es indispensable la identificación del celo en la vaca y poder diferenciarla con aquella que no está en celo. Según Beach (1976), la clasificación de los comportamientos sexuales se expresa en los distintos estados fisiológicos de la hembra durante el ciclo estral.

Como primer estado fisiológico está la atractividad, la cual ocurre en el proestro y es la capacidad que tiene la hembra de atraer al macho (Fogwell 2011). Esta actividad es notoria y se puede medir según la frecuencia de acercamientos del macho o incluso de otra hembra del mismo grupo (comportamiento homosexual). Existen tres diferentes vías de comunicación biológica por medio de las cuales la hembra puede transmitir la atractividad hacia el macho: 1) La comunicación química mediante secreciones genitales de feromonas para estimular la libido del macho y 2) La comunicación auditiva, la cual es por medio de los diferentes bramidos de la hembra en comparación con las demás para dar a conocer su estado. 3. La comunicación visual, siendo esta bastante notoria al momento de ver una hembra inquieta o con la cola levantada, también puede mostrarse agresiva con su grupo (Ramírez 2012).

La proceptividad es el estado fisiológico en el que la hembra presenta una actividad de búsqueda del macho, en la que tiene la capacidad de excitar e inducir al macho o a alguna de sus compañeras (Fogwell 2011). La vaca transmite este estado mediante la comunicación de tacto (Ramírez 2012), optando por distintas formas de rozar con el macho o sus compañeras, ya sea mediante toques con la cabeza en diferentes partes del cuerpo, apoyar el mentón en diferentes partes del cuerpo o entrecruzamiento de cuellos. Otra conducta que comúnmente se realiza es la de intento o rechazo de monta, misma que sirve de estímulo visual al macho u otra hembra del mismo grupo de tal manera que se formen grupos activamente sexuales.

La receptividad es el último de estos estados fisiológicos, en el cual evidentemente la hembra acepta de forma quieta la monta realizada ya sea por el macho o por otra hembra del grupo, proponiéndole todos los movimientos que faciliten la penetración del pene como: desviación de la cola y arqueado de la columna. Este estado ocurre en el estro, en donde la hembra tiene altos niveles de estradiol y bajos niveles de progesterona. Esta etapa termina cuando los niveles de ambas hormonas están bajos, siendo así la finalización de la aceptación de la monta (Ramírez 2012).

Así como en el macho, la vaca también tiene ciertas deficiencias cuando esta no se encuentra bajo las condiciones óptimas, lo que provoca también trastornos en el ciclo estral de la vaca. Las condiciones ambientales son consideradas en la actualidad como uno de los principales factores que afectan de manera negativa la reproducción animal. El estrés calórico (EC), por ejemplo, se encarga de alterar la funcionalidad del ciclo estral, lo cual ocasiona una reducción de cinco horas en el mismo (Savio *et al.* 1993). Por otro lado, el desarrollo folicular también se ve afectado durante los primeros ocho días, al igual que la fuente preovulatoria de la hormona luteinizante (LH), favoreciendo un retardo en la ovulación (Moberg 1975). Según Collier *et al.* (1985), el EC, por un periodo de diez horas en el día de celo, afecta de forma negativa la calidad de los oocitos, el desarrollo del embrión y la sobrevivencia. Asimismo, los desarrollos embrionarios tempranos también son susceptibles a este estrés, debido a que no se producen las proteínas de “shock calórico” (HSPs, por sus siglas en inglés); sin embargo, el desarrollo embrionario logrará ir elaborando las proteínas para darle protección (Bañuelos *et al.* 2001).

Los factores ambientales también se ven influenciados sobre las etapas de gestación, parto y posparto, teniendo como consecuencia malformaciones del feto, alteraciones hormonales y reducción en la producción de leche (Collier *et al.* 1982). Radiación solar muy intensa, alta humedad y temperatura son factores ambientales que pueden provocar un retraso o incluso suspender el proceso de parto de una vaca (Shearer *et al.* 1996). Estudios realizados en vacas Holstein evaluaron efectos del EC sobre el desempeño reproductivo de estas, de los cuales se registró actividad lútea anormal alta en la estación seca, junto con una caída de la condición corporal (Kornmatitsuk *et al.* 2008). Por otro lado, el EC logra afectar la alimentación de las vacas, obteniendo un balance energético negativo y aumentando la cantidad de días abiertos y, por ende, el incremento del intervalo parto-concepción; siendo esto consecuencia de la baja ingesta de materia seca (Ashworth *et al.* 2009). Con respecto a esta problemática, se encuentra la asociación de los factores ambientales junto con los factores de alimentación y nutrición de los animales.

En la actualidad, el manejo de sombras para los animales sigue siendo una de las alternativas más utilizadas para combatir este tipo de problemas ambientales, además de ser una solución muy económica. Asimismo, se han logrado plantear algunas estrategias para reducir los efectos negativos del medioambiente, optando por realizar ciertas modificaciones ambientales o genéticas, selección de razas o cruces con una gran capacidad de regular la temperatura corporal y mejoras en los aspectos nutricionales (Góngora y Hernández 2010).

Además de los factores ambientales y hormonales, las actividades de manejo por parte del personal de la finca son fundamentales para un mejor control sobre la conducta sexual de las hembras. La detección de celo es una de las herramientas más esenciales en una finca, ya que forma parte del control reproductivo del hato. Estudios realizados señalan a la eficiencia de detección de celo como la principal responsable del anestro posparto, ya que no logra superar el 50% de eficiencia. Como consecuencia, esto aumenta la cantidad de días vacíos, limita la difusión y la eficiencia de la inseminación artificial (González y Madrid 2002). Un método de precisión utilizado comúnmente para mejorar la detección de celo es aumentar la frecuencia de observación de las vacas, con un mínimo de 20 a 30 minutos por cada observación que se haga (Rodríguez 2001). Es importante que la vaca que se esté monitoreando no sea distraída de alguna forma, por ejemplo, no debe ser alimentada ya que ella no mostrará señales de celo si está esperando el alimento. Existen otros métodos complementarios que permiten reducir el margen de error en la detección visual, mismos

que dependerán de las características de cada grupo de un hato. Se debe considerar que algunos métodos traen consigo un costo adicional para lograr implementarlo. Cabe recalcar que estos métodos no son para reemplazar los que sean empleados por la finca, el objetivo es mejorar la detección de celo apoyando las ideas actuales con ideas nuevas (Pueyo 2017).

Uno de los métodos utilizados en algunas fincas es el método ALPRO[®], relacionado con la actividad diaria de la hembra, la cual es mediante unos cálculos de los cuales los datos son obtenidos de unos dispositivos colocados en la vaca. Estos dispositivos (podómetros) pueden ser colocados en el cuello, miembro posterior o en el corvejón (articulación que une la parte inferior de la pierna y la parte superior de la caña). Los podómetros realizan la medición de la actividad motora de la vaca, la cual se utiliza para realizar el cálculo y compararlo con el registro del ciclo estral anterior. La información es transmitida por medio de unas antenas que deben colocarse a 30 metros máximo del lugar donde estén los animales, y es recibida por otra antena que está conectada a un ordenador programado para procesar dicha información. Los datos registrados son la identificación de la vaca, número de dispositivo y horario en el que muestra el aumento de actividad de cada hembra e inicio del estro. Al observar una diferencia significativa en los registros se determina el celo en la hembra (Pueyo 2017). Estudios indican las mejores probabilidades de concepción se dan entre las 6 y 17 horas después del incremento de la actividad motora, siendo las 12 horas el tiempo óptimo (Maateje *et al.* 1997). La implementación de los podómetros se consideran un método preciso de detección de celo en vacas, sin embargo, este funciona en tiempo real; es por esto que su eficacia es mucho mejor en vacas en pastoreo que en una ganadería estabulada. La mayor limitación de este método son los falsos negativos, los cuales se presentan por una menor lectura del dispositivo. Las causas de esto pueden ser problemas de cojera en las vacas y el efecto del EC (López *et al.* 2005). En un estudio realizado por Pueyo (2017) el método ALPRO[®] fue uno de los que más falsos presentó. La eficacia de estos podómetros está en un rango relativo de 52 al 92% dependiendo del sistema de la finca (Sakaguchi 2011).

Otro método utilizado como un control es el de detección de monta, las cuales son unas marcas o dispositivos que se aplican a la hembra para confirmar que han sido montadas. Estas marcas son adhesivas y son encontradas comercialmente bajo sus respectivas marcas como Estrotect[®] y Kamar[®]. Los dispositivos que son colocados en el anca de la hembra **avisan** al personal que la vaca ha sido montada. Estos son encontrados con sus marcas, algunas de estas son HeatWatch[®] y Mountcount[®].

Estrotect[®] es un sistema de detección que confirma que la vaca ha sido montada mediante un parche colocado en el anca de la vaca, el cual se convierte a un color rojo brillante al haber una monta (Estrotect 2019). Las limitaciones que tiene este producto es que al perderse no existiría información concreta sobre la actividad de monta (Pueyo 2017).

El producto Kamar[®] es un sistema que depende de la duración de la monta, la cual debe ser de al menos tres segundos para activar su cápsula; al momento de la detección cambia de color blanco a rojo (Kamar 2019). Tiene las mismas limitaciones del Estrotect[®], también brinda información falsa al haber solo una vaca en celo en todo el grupo (Pueyo 2017).

HeatWatch[®] es otro adhesivo que se coloca en el anca de la vaca, es un dispositivo electrónico que envía señales a un receptor el cual reenvía la información al ordenador de la finca. El sistema

considera que una vaca está en celo cuando ha sido montada tres veces en un periodo de tiempo de dos a cuatro horas. Las limitaciones con este sistema es que no transmite las señales si el dispositivo está a una distancia mayor a la que alcanza el receptor (Pueyo 2017).

Mountcount® es otro sistema similar a HeatWatch®, con la diferencia que este no necesita de ordenadores, ya que el dispositivo tiene unas luces que le dan las señales al personal cuando ocurre la monta. Si la vaca es montada tres veces en un lapso de cuatro horas la luz comienza a parpadear, demostrando que la hembra está en celo. Cuenta con otra luz que refleja el momento óptimo para realizar la inseminación, parpadeando cuatro horas luego de detectar celo. Este sistema es de fácil interpretación, pero requiere de una constante observación visual por parte del personal.

El método del toro marcador o toro probador de celos tiene como única función montar hembras para verificar que están en celo. El macho debe pasar por una intervención quirúrgica llamada desviación del pene, misma que únicamente un médico veterinario puede llevar a cabo, para que el pene no logre penetrar la vagina; sin embargo, el animal conserva sus características sexuales y seminales (Naveros y Huanca 2014). Los machos adecuados para esta actividad son animales de 12-14 meses y “son animales de mediana sangre, muy mestizos que tienen la ventaja de tener la libido muy alta y son muy activos en el potrero” (Gómez 2014). Los dispositivos que se utilizan en estos animales son unos recipientes con tinta que se sujetan a la papada con un arnés de cuero, el cual al ser presionado libera el fluido sobre el lomo de la vaca. Estos dispositivos son conocidos comercialmente como Chin-Ball®, como se mencionó anteriormente, el método es de los más eficientes (92% de efectividad) y su costo es bajo (Jiménez *et al.* 2009); sin embargo, una de las desventajas suele ser el instalar los dispositivos en machos temperamentales (Polsky *et al.* 2017), “los costos de la cirugía y mantenimiento del toro en la finca” (Jiménez *et al.* 2009).

La androgenización de hembras se realiza con el propósito de aumentar la agresividad sexual por medio de la aplicación de hormonas masculinas (Henricks *et al.* 2001). Un estudio realizado por Ramirez (2012) determinó a las vacas “Freemartin” como las mejores para ser androgenizadas. Estas son vacas de descarte, siempre y cuando tengan buenas condiciones físicas. Se utilizan como detectoras de celo en otras hembras ya que obtienen la conducta de un macho por las hormonas que se aplican, estas son la testosterona propionato (TP) o la testosterona enantato (TE) (Naveros y Huanca 2014). La dosis a aplicar varía según el animal y la concentración de las hormonas. Las hembras deben permanecer alrededor de ocho días en un entrenamiento previo para observar su comportamiento y luego escoger a las que mejores resultados tuvieron. Diversos estudios han mostrado que el método de detección de celo con hembras androgenizadas tiene cierta similitud con el método de toros marcadores (Mejia 1998). Sin embargo, un estudio reciente realizado por Ortiz y Ávila (2020) mencionan que el método de toros marcadores está dentro de los métodos más eficientes y menos costosos; a diferencia de las hembras androgenizadas, que su eficiencia es alta pero sus costos son elevados.

Además de estos métodos, existen otros denominados métodos no visuales debido a que no se logran detectar cambios en la conducta del animal. Sin embargo, estos cambios ocurren durante sus procesos fisiológicos. La temperatura corporal de la hembra es un factor muy variable durante el ciclo estral, generalmente disminuye previo al estro, aumenta cuando está en el estro y logra estabilizarse después de la ovulación. Estos cambios de temperatura son muy variables, ya que al

salir del celo puede aumentar entre 0.3 y 1.1 °C y es de corta duración por lo cual es difícil realizar mediciones (Pueyo 2017).

El método de detección de celo por medio del nivel plasmático de progesterona es otro método no visual, el cual se basa en el cambio de la concentración de P₄ en la sangre. Este cambio lo experimenta la vaca durante el estro, es decir, el día que se llega al estro la concentración de P₄ será inferior a 0.5 ng/mL (Pueyo 2017). Luego de ese día, los niveles de progesterona comienzan a aumentar por medio de la formación del CL, pero disminuirán al no haber una fecundación; de lo contrario, irá aumentando por la producción del CL y la placenta. Un estudio realizado por Norambuena (2015) determinó que los niveles plasmáticos de progesterona están asociados a una verdadera expresión de celo, sin embargo, no todas las hembras presentan una conducta visual del celo. Davidge *et al.* (1987) mencionan que “la aceptación de monta es el signo de comportamiento de estro más sensible a la inhibición producida por la progesterona y los signos secundarios del estro, como apoyar la quijada o la monta”. Por otro lado, las bajas concentraciones de P₄ en la fase lútea causan un estro deficiente y totalmente disfuncional. Con esto coinciden los celos silenciosos, lo cual indica un mal ciclo reproductivo a causa de los bajos niveles de progesterona. Sin embargo, en un estudio realizado por Grajales *et al.* (2010) concluyeron que las concentraciones de P₄ que se presenten determinan las probabilidades de que exista un desempeño reproductivo positivo o negativo.

La resistencia eléctrica (RE) de la mucosa cervical es de los métodos que determinan los cambios fisiológicos del ciclo estral y ayudan a determinar el momento óptimo para la inseminación (Leidl y Stolla 1976). La RE está basada en la cantidad de secreción cervical (Metzger *et al.* 1972). Estudios indican que “los fluidos dentro de la vagina tienen una alta RE en la fase lútea, y esta disminuirá durante la fase folicular” (Senger 1994). Es decir, que a medida que vaya disminuyendo la RE irá intensificándose la manifestación del celo. Hockey *et al.* (2010) establecieron que el cambio de RE en la mucosa vaginal es un método más preciso para determinar el momento adecuado para la inseminación que los métodos de observación visual. Bertín (2008) menciona que existen dos alternativas para determinar estos cambios en la resistencia eléctrica. El primero es el detector electrónico de resistencia, el cual comprende una sonda con electrodos y una unidad de registro. La segunda es por medio de electrodos implantados que envían señales mediante radiotelemedicina hacia una unidad de registro (Bertín 2008). Esta última se conoce por sus mediciones exactas (Kitwood *et al.* 1993), sin embargo, la sonda vaginal ofrece un mayor potencial para utilizarse rutinariamente (Smith *et al.* 1989). Según Rorie *et al.* (2002), para indicar el estro, los valores de RE deben estar en 30 a 40 ohms, pero se advierte de que no todas las hembras logran bajas lecturas en esta etapa. Asimismo, mencionan que se requiere de dos mediciones diarias y registros de cambios sobre un periodo de tiempo. Un estudio realizado por Bertín (2008) concluyó que la RE tiende a mostrar un comportamiento similar que la concentración plasmática de progesterona durante el ciclo estral bovino.

Cabe recalcar que la importancia de la detección de celo es fundamental en una finca, teniendo como objetivo realizar una actividad eficiente de monta natural o inseminación artificial. Estas actividades conducen a la preñez únicamente si el espermatozoide ingresa en el momento y lugar adecuado (Linares 2007). El ovario libera el óvulo 10 a 14 horas después de que termina el celo, y su fertilidad puede durar de 6-12 horas y 24 horas dentro del aparato reproductor (Hafez 2002). El momento de inseminación se ha establecido en un rango de 12-24 horas después de la primera

expresión de celo, realizando la práctica a la mañana del día siguiente en las vacas que fueron detectadas por la tarde o viceversa.

Nutrición

La calidad de la nutrición que se le proporcione a los animales se ve siempre reflejado en su madurez, lo que es importante para poder obtener resultados de una manera eficiente en cuanto a la producción de un hato y la conducta a futuro que podrán tener al momento de continuar a sus ciclos reproductivos. La nutrición animal adecuada en este punto se basa principalmente en la pubertad en hembras, es decir, básicamente la edad y peso óptimo a la que una raza en específico pueda ser servida (Cuadro 1) (Forero 2004). Un deficiente consumo de nutrientes da como resultado una menor tasa de crecimiento y un atraso en la edad a la pubertad (Vásquez 2017). En vaquillas, el peso corporal está directamente relacionado con la edad y el inicio de su vida reproductiva (Hafez 2002). La nutrición animal va de la mano con las condiciones ambientales en casi todas las etapas de desarrollo y madurez sexual, debido a que ambos son factores clave para un óptimo comportamiento reproductivo. Cuando ambos factores se encuentran en condiciones desfavorables es cuando se manifestarán limitaciones en la reproducción animal. Por ejemplo, en las hembras, la funcionalidad del primer estro presentaría un retraso ya sea de mínimo a máximo grado como consecuencia de la interacción de estos dos factores (Giménez 1995). Asimismo, un retraso de la edad y peso corporal en vaquillas puede impedir la función del vientre, es decir, que esta no podría quedar preñada; lo que consecuentemente la obliga a permanecer aún como un animal improductivo hasta que se puede dar el servicio de nuevo (Stahringer 2003). Por otro lado, Góngora y Hernández (2010) determinaron por medio de diversos estudios que las razas de menor peso logran llegar a la pubertad antes que las razas grandes, además de la influencia de las diferentes genéticas y cruza en distintas regiones que tomaron en cuenta (Cuadro 2).

Cuadro 1. Edad y peso al primer servicio en hembras de las diferentes razas de ganado lechero.

Raza	Edad al primer servicio (meses)	Peso adecuado para poder servir (kg)
Holstein	18-20	370
Pardo Suizo	18-20	370
Ayrshire	17-19	300
Guernsey	16-18	275
Jersey	15-17	250

Fuente: Datos Agropecuarios (2019)

Cuadro 2. Edad y peso a la pubertad en diferentes genotipos bovinos.

Raza	País	Peso (kg)	Edad (meses)
Hereford	EEUU	340	14
Brahman	Venezuela	212	17
Simmental	EEUU	---	12
Holstein	Cuba	233	15
Holstein	Colombia	307	14
Holstein x Cebú	Cuba	244	15.5
Cebú	Cuba	258	16
Cebú	Colombia	296	17

Fuente: (Góngora y Hernández 2010)

Con respecto a la fertilidad de las hembras, esta se ve afectada directamente por la condición corporal y la calidad nutricional durante el servicio, ya que el balance energético debe mantenerse positivo para lograr la retención embrionaria (Vásquez 2017). Una buena condición corporal al momento del parto debe ser fundamental para que la vaca pueda regresar a su actividad ovárica cíclica de manera natural y sin presentar complicaciones, estos valores deben oscilar entre 3 y 3.5 (escala 1-5). La fertilidad de los celos es indispensable debido a que de ello depende la duración del periodo parto-concepción; asimismo, afecta la longitud del periodo entre partos (Vásquez 2017).

En cuanto a la actividad reproductiva de los machos, la nutrición es de gran importancia para el desarrollo y actividad de su sistema reproductivo. Una baja nutrición para estos animales trae como consecuencia un mal desarrollo testicular tanto pre y pos pubertad (Hafez 2002). En otras palabras, se reduce el peso de los testículos y la secreción de las glándulas accesorias, así como una baja motilidad y concentración de esperma. Una adecuada nutrición se ve reflejada en el buen desarrollo general del sistema reproductivo del macho y producción futura del semen bovino. El principal efecto negativo en cuanto al nivel alimentario ocurre generalmente en la pubertad, siendo causa de una reducción de las reservas espermáticas en el epidídimo y una mala calidad del semen (Vásquez 2017).

Por otro lado, se encuentra la suplementación de sales minerales y vitaminas, lo que es también parte esencial de la reproducción animal. El uso de sales minerales ha mostrado ser un gran beneficio sobre los parámetros productivos y reproductivos de un hato (Mufarregue 1999). Asimismo, reduce los porcentajes de mortalidad y aumentan el buen desempeño de los animales en un hato. La adecuada suplementación de minerales en las hembras al momento de servicio puede ser un factor clave para la obtención de índices óptimos de reproducción (Garmendia 2007).

La importancia de las sales minerales y vitaminas debe ser fundamental en toda finca, teniendo en cuenta los requerimientos de los animales por medio de las observaciones que se deben realizar a los mismos. Deficiencias de estos dos componentes afectan en gran manera la actividad embrionaria, la fertilidad, retención de placenta y abortos (Vásquez 2017). Al existir una deficiencia nutricional se ven presentados a menudo este tipo de problemas en una finca, estos

problemas son algunos signos de infertilidad en las hembras (Salamanca 2010). Al presentar, por ejemplo, una involución uterina retardada por retención de placenta o metritis es una posible deficiencia de algunos elementos como cobre, yodo o vitaminas como las A, D, E. Otro tipo de problemas causado por falta de calcio, fósforo, energía o vitamina D es el anestro posparto junto con una mala función ovárica; por otro lado, algunos de estos componentes también causan el efecto de celos repetidos y reabsorción embrionaria, a los cuales se le incluye también la falta de cobalto, manganeso, zinc, yodo y vitamina A. Los abortos, los cuales no deben ser comunes en la finca ya que afectaría en gran manera la producción, se dan a causa de un déficit ya sea de manganeso, yodo o vitamina A (Garmendia 2007). La solución a todos estos problemas que posiblemente puedan presentarse dentro de un hato es el adecuado suministro de estos productos. Por otro lado, es importante recalcar que el consumo excesivo de estos componentes provoca severos trastornos en los animales, como diarreas. Campabadal (2009) considera que la fiebre de leche se debe a los efectos que causa el exceso de potasio en los forrajes del trópico, ocasionando un desbalance anión: catión que afecta el uso de calcio en las vacas lactantes.

En machos, las sales minerales y vitaminas ayudan a la mejora de su buen crecimiento desde jóvenes, además de que fortalecen el sistema inmune. Componentes como la vitamina A y zinc son muy importantes para el buen desarrollo y funcionalidad testicular, por el contrario, una deficiencia de este provocaría una degeneración del epitelio germinativo y aumentaría el porcentaje de espermatozoides anormales (Vásquez 2017). Problemas como la baja libido, volumen de eyaculado y calidad del semen con causa de la deficiencia de fósforo acompañado de otros microelementos. El buen suministro de minerales y vitaminas en machos aportará en mejorar de gran manera su comportamiento reproductivo (Vásquez 2017).

En la funcionalidad del sistema reproductivo y su comportamiento se menciona con frecuencia la importancia del fósforo, y se considera que este es uno de los elementos más indispensables para la funcionalidad general de un animal. Este elemento influye mucho en la fertilidad de los animales, y sobre todo en relación con el calcio el cual debe ser por lo menos de 2.1:1 (Ca:P) (Díaz y Henao 1967). Una mala relación de calcio: fósforo podría causar un trastorno severo y una mala transformación de otros componentes como la vitamina A. Por otro lado, también afecta diferentes parámetros de rendimiento animal como la producción, condición corporal, índice de conversión alimenticia (ICA) (BAYER 2019).

Instalaciones

El aislamiento del macho afecta su desempeño reproductivo y se ve reflejado en su comportamiento de estrés, lo que generalmente afecta a la libido; también se ve en obligación de masturbarse al estar mucho tiempo encerrados, lo cual no ocurre en lugares abiertos en donde existe una interacción social con otros animales. Es por esto que el diseño de las instalaciones es de vital importancia, ya que el animal no debe mantenerse solo ni retirado de las hembras por mucho tiempo. Sin embargo, una agrupación muy excesiva también podría causar un estrés debido a la organización social, lo cual afecta el estímulo de la libido (Hernández y Drescher 2012). El macho debe tener un espacio libre en donde pueda realizar la monta sin dificultades, lo cual ayuda a que la hembra también se sienta más comfortable.

Junto con los factores climáticos, existe además el efecto que causa el diseño de instalaciones y espacio que se tiene en la finca para las hembras. Estudios realizados sobre el bienestar animal consideran la posibilidad de que muchas de las instalaciones diseñadas para el manejo de ganado en el trópico son inapropiadas e incluso influyen en el comportamiento reproductivo, sobre todo en la detección de celo (Hernández y Drescher 2012). Se considera que además de problemas reproductivos, estos factores también afectan en gran manera la actividad social de las vacas, especialmente en la alimentación; cabe recalcar que siempre existen las jerarquías en los grupos, lo cual, al no existir el espacio suficiente para todas las vacas, estas no se estarán alimentado adecuadamente. Asimismo, esto traerá consigo ciertas irregularidades en producción de leche, condición corporal y enfermedades. Para que una hembra no sufra por problemas de tensión social y estrés, es necesario que pueda sentirse confortable y que tenga un espacio requerido solo para ella; a este concepto se le conoce como espacio vital, en el cual se logra evitar el estrés y las malas conductas tanto sociales y sexuales. Por otro lado, las superficies también son factores que afectan la expresión de celo en las hembras. Superficies duras o resbaladizas son de disgusto para que la vaca pueda expresar el celo o incluso ser montada, se prefieren superficies con hierba o incluso con suciedad como en el caso de los corrales (Pueyo 2017). Para que las instalaciones afecten positivamente al hato, es importante que se consideren todos los factores ambientales; asimismo, considerar las variables económicas de la finca y las características del ganado (raza, peso, altura, temperamento.) para así poder contar con instalaciones óptimas para un buen manejo de los animales (Hernández y Drescher 2012).

4. CONCLUSIÓN

De acuerdo con la revisión de literatura se concluye que existen una serie de factores como las condiciones ambientales, nutrición animal, actividad social, espacio e instalaciones, los cuales están relacionados con el comportamiento sexual en ganado lechero, así como también la importancia que tienen cada uno de estos sobre la óptima reproducción animal bovina.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar una comparación entre los distintos sistemas para la detección de celo para verificar con cual se obtienen mejores resultados.
- Realizar registros frecuentes de los diferentes signos visuales de celo en las hembras, tales como el color de la mucosa de la vulva, tipo de moco que expulsa al momento de la inseminación artificial, receptividad y sangrado pos-celo.
- Realizar experimentos en campo sobre la conducta sexual en bovinos, tomando en cuenta los factores que más afectan el desempeño reproductivo.

6. LITERATURA CITADA

- Abelenda M. 2014. Comportamiento sexual durante la primera estación reproductiva de corderos criados artificialmente o con sus madres [Tesis]. Montevideo- Uruguay: Universidad de la República. 42 p.
- Agüero G. 2012. Evaluación de las características seminales de sementales bovinos mediante el analizador seminal computarizado. Universidad Central de Venezuela, Caracas- Venezuela. 81 p.
- Ashworth C, Toma L, Hunter M. 2009. Nutritional effects on oocyte and embryo development in mammals: implications for reproductive efficiency and environmental sustainability. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 364(1534): 3351-3361. doi.org/10.1098%2Frstb.2009.0184
- Bañuelos R, Silva J, Aréchiga C. 2001. La función de las proteínas de choque calórico en la reproducción animal. *Revista Biosalud*. 5(1): 41-50.
- Bertin SI. 2008. Resistencia eléctrica en mucus vaginal durante el ciclo estral en vacas. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fvb544r/doc/fvb544r.pdf>
- Beach F. 1976. Sexual attractivity, proceptivity, and receptivity in female mammals. *Hormones and Behavior*. 7(1): 105-138. doi.org/10.1016/0018-506X(76)90008-8
- Campabadal C. 2009. Efecto de la nutrición sobre la reproducción. Costa Rica: ProLeche. [consultado el 22 de jul del 2020]. <http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2009/Efecto-de-la-nutricion-sobre-la-reproduccion-Carlos-Campabadall-H.pdf>
- Collier R, Doelger S, Head H, Thatcher W, Wilcox C. 1982. Effects of stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *Journal of Animal Science*. 54(2): 309-319. doi. 10.2527 / jas1982.542309x.
- Collier R, Thatcher W, Wilcox C, Badinga L. 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *Dairy Science*. 68:78-85. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80800-6
- Córdova I. 2017. Algunos factores del medioambiente que determinan el comportamiento reproductivo en bovinos en los trópicos. *Revista Ganadería Mexico*. 40(1): 7-22. doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002
- Davidge S, Eielbold J, Senger P, Hillers J. 1987. Influence of varying levels of blood progesterone upon estrous behavior in cattle. *Journal of Animal Science*. 64: 126-132. doi.10.252/2Fjas1987
- Datos Agropecuarios. 2013. Bovinos "Pubertad". México: Datos Agropecuarios Internacional; [consultado el 7 de oct del 2020]. <https://datosagropecuarios.jimdofree.com/>
- Díaz G, Henao P. 1967. Determinación de calcio y fosforo en ganado bovino en la sabana de Bogotá. *Revista de Facultad de Medicina Veterinaria*. 30(2): 7-13.
- ESTROTECT. 2019. EstroTECT breeding indicator [Internet]. [consultado el 01 de sep del 2020]. <https://estrotect.com/>

- Evans G, Maxwell W. 1987. Salamon's artificial insemination of sheep and goats. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 25(95): 100-114. doi.org/10.1007/BF02361195
- Florez C. 2004. Suplementación con minerales. *Revista Electrónica Veterinaria*. 11(9): 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63615732008.pdf>
- Fogwell R. 2011. Automated heat detection: AI with no observation and no injections. *Michigan Dairy Review*. 16(3): 1-14.
- Forero A. 2004. Fallas reproductivas asociadas a deficiencias de micro minerales. Argentina: Dirección Técnica Laboratorio PROVET; [consultado el 11 de sep del 2020]. http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/12-deficiencias_micorminerales_colombia.pdf
- Garmendia J. 2007. Los minerales en la reproducción bovina [Tesis]. Caracas-Venezuela: Universidad Central de Venezuela, 80 p.
- Giménez M. 1995. El buen trato del ganado. Buenos Aires (Argentina): El Toril. 256 p.
- Gómez C. 2014. La importancia del toro calentador probador del celo en las vacas. *Revista Contexto Ganadero México*; [consultado el 10 de oct del 2020]. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/la-importancia-del-toro-calentador-probador-del-celo-en-las-vacas>
- Góngora A, Hernández A. 2010. La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Revista UDCA*. 13(2): 141-151. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a17.pdf>
- González C, Madrid N. 2002. Identificación de riesgos y puntos críticos en el mejoramiento y control exitoso en la reproducción bovina. En: *Avance en la Ganadería de Doble Propósito*. 1ª edición. Ramírez I, Lílido N, González Stagnaro C, Soto Belloso E, editores. Fundación Grupo de Investigadores de la Reproducción Animal en la Región Zuliana. pp. 431-458.
- Gordon I. 1999. *Controlled reproduction in sheep and goats*. Dublin (Irlanda): CABInternational. 450 p.
- Grajales H, Hernández V, Prieto E. 2010. Niveles de progesterona durante el ciclo normal y silencioso en bovinos en el trópico colombiano. *Revista MVZ Córdoba*. 15(2): 2060-2069. doi.10.21897/rmvz
- Hafez B, Hafez ESE. 2002. Reproductive behavior. En: Hafez B, Hafez, ESE, editores. *Reproduction in Farm Animals*. 7ma ed. pp. 239-306.
- Haqq C, Donahoe P. 1998. Regulation of sexual dimorphism in mammals. *Physiological Reviews*. 78(1) :1-33. <https://doi.org/10.1152/physrev.1998.78.1.1>
- Henricks DM, Dickley JF, Hill JR. 2001. Estrógeno plasmático y niveles de progesterona en vacas antes y durante el estro. *Oxford Academy*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5166046>
- Hernández A, Drescher K. 2012. Instalaciones, conducta y bienestar en vacunos tropicales. *Mundo Pecuario*. 8(2): 121-131.
- Hockey CD, Norman ST, Morton JM, Boothby D, Philips NJ, McGowan MR. 2010. Use of vaginal electrical resistance to diagnose oestrus, dioestrus and early pregnancy in synchronized tropically adapted beef heifers. *Reproductive Domestic Animals*; [consultado el 10 de oct del 2020]. 45(4) :629-36. doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01320.x

- Holy L. 1983. Bases biológicas de la reproducción bovina [Tesis de pregrado]. Buenos Aires-Argentina: Universidad de Buenos Aires. 463 p.
- Jiménez-Pérez FA, Urdaneta M, González R, Sandoval J, Parra A. 2009. Evaluación de cuatro métodos de detección de celo en novillas de doble propósito. *Redalyc*. 19(1) :366-370. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95911613008.pdf>
- Kitwood SE, Phillips C, Weise M. 1993. Use of a vaginal mucus impedance meter to detect estrus in the cow. *Theriogenology*. 40(1): 559-569. doi.org/10.1016/0093-691x(93)90409-x
- Kornmatitsuk B, Chantaraprateep P, Kornmatitsuk S, Kindahl H. 2008. Different types of postpartum luteal activity affected by the exposure of heat stress and subsequent reproductive performance in holstein lactating cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 43(5): 515-519. doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00945.x
- Leidl W, Stolla R. 1976. Measurement of electrical resistance of the vaginal mucus as an aid for heat detection. *Theriogenology*. 6(1): 237-249. doi.org/10.1016/0093-691X(76)90017-0
- Linares Y. 2007. Observación de la conducta sexual en un rebaño bovino de doble propósito en el estado de Trujillo. *Mundo Pecuario*. 4(3): 145-168.
- López-Gatius F, Santolaria P, Mundet I, Yániz J. 2005. Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*. 63(5): 1419-1429. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.07.007
- Maateje K, Loeffler S, Engel B. 1997. Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers. *Journal of Dairy Science*. 80(6): 1098-1105. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76035-1.
- Mejía Sandoval A. 1998. Manual para la explotación de ovinos de pelo en México. Universidad de Guadalajara. pp. 40-71.
- Metzger E, Freytag R, Leidl W. 1972. Device for measuring the electrical conductivity of the vaginal mucus for determining estrous in cattle. *Zuchthyg*. 7(3): 56-61. doi.org/10.1111/j.1439-0531.1972.tb00222.x
- Moberg G. 1975. Effects of environment and management stress on reproduction in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*; [consultado el 25 de jun del 2020]. 59(9): 1618-1624. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84414-1
- Mufarregue J. 1999. Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. Argentina. Sitio Argentino de Producción Animal. [consultado el 20 de sep del 2020]. http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/60-minerales_en_la_alimentacion_vacunos.pdf
- Naveros ML, Huanca T. 2014. Anatomía y fisiología reproductiva de la vaca. ABC del inseminador en ganado vacuno de leche. Manual N°1. Perú. pp. 15-36. doi: 2014-04592
- Nezhad F, Lavvaf A, Karimi S. 2013. Effect of heat stress on oxidative reactions in the sheep Sertoli cells. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(12): 833-839.
- Norambuena L. 2015. Estudio de la conducta de celo y su relación con el nivel plasmático de progesterona, tamaño folicular y actividad física detectada por un equipo electrónico, en vacas lecheras de primer parto a pastoreo [Tesis]. Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile.

- Ortiz SD, Ávila KY. 2020. Fundamentos y métodos actuales de detección de celo en bovinos. Universidad Cooperativa de Colombia. pp. 9-15.
- Pineda H, McDonald LE. 1991. Endocrinología veterinaria y reproducción. 4ª. ed. Buenos Aires(Argentina): Interamericana-McGraw-Hill. 252 p.
- Polsky LB, Madureira AM, Drago-Filho EL, Soriano S, Sica AF, Vasconcelos J, Cerri R. 2017. Asociación entre temperatura ambiente y humedad, temperatura vaginal y monitoreo de actividades automáticas sobre el estro inducido en vacas lecheras. Science Direct. <https://www.Science direct.com/science/article/pii/S0022030217307506>
- Pueyo D. 2017. Efectividad de cuatro métodos para la detección de celo en vacuno de carne [Tesis de maestría]. España: Universidad Zaragoza. 76 p.
- Ramírez, LN. 2012. Características del comportamiento sexual natural e inducido de la vaca doble propósito. Mundo Pecuario. 8(2): 92-106.
- Rodríguez T. 2001. Momento óptimo de la inseminación artificial en celo natural y sincronizados en bovinos. González Stagnaro C, editor. Reproducción Bovina. Maracaibo: Libro Júbilo. pp. 281-298.
- Rorie RW, Bilby T, Lester T. 2002. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. Theriogenology. 57(1): 137-148. [doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00663-X](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00663-X)
- Sakaguchi M. 2011. Practical aspects of the fertility of dairy cattle. Journal of Reproduction and Development. 57(1): 17-33. <https://doi.org/10.1262/jrd.10-197E>
- Salamanca A. 2010. Suplementación de minerales en la producción bovina. Revista Electrónica de Veterinaria. 11(9): 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63615732008.pdf>
- Savio D, Badinga L, Wolfenson D. 1993. Regulation of dominant follicle turn over during the estrous cycle in cows. Journal of Reproduction and Fertility. 97(2): 197-203. doi: 10.1530/jrf.0.09701970
- Senger PL. 1994. The estrus detection problem: new conceptions, technologies, and possibilities. Journal of Dairy Science. 77(1): 2745-2753. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77217-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77217-9)
- Shearer J, Elliot J, Vargas C. 1996. Raising replacement heifers in hot climates. Institute of Food and Agricultural Sciences. Proceedings of the International Conference on Livestock in the Tropics. Gainesville, Florida: University of Florida.
- Smith JW, Spahr SL, Puckett HB. 1989. Electrical conductivity of reproductive tissue for detection of estrus in dairy cows. Journal of Dairy Science. 72(1): 693-701. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79161-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79161-X)
- Stabenfeldt H, Davidson A. 2002. Ciclos reproductivos. En: Cunningham JG, editor. Fisiología Veterinaria. Madrid (España): Elsevier. pp. 389-397.
- Stabenfeldt H, Edqvist L. 1999. Procesos de la reproducción de la hembra. En: Swenson MJ, Reece WO, editores. Fisiología de los Animales Domésticos de Dukes. Noruega: UTEHA. pp. 678-710.

- Stahringer R. 2003. El manejo del amamantamiento y su efecto sobre la eficiencia productiva en rodeos bovinos de cría. Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; [consultado el 24 de sep de 2020]. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_el_manejo_del_amamantamiento_y_su_efecto_sobre.pdf
- Thaker KR, Niranjana K, Pankaj K, Chaurasia S, Patel NV. 2013. Técnicas de detección de celo en bovinos y bufalinos. *Veterinarian World*. 6(6): 363-369. doi: 10. 5455/vetworld.2013.363-369/
- Trujillo O. 2014. La conducta sexual del carnero. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5(1): 49-89.
- Ungerfeld R. 2016. Progesterona y respuesta de estrés: mecanismos de acción y sus repercusiones en rumiantes domésticos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuaria*. 7(2): 185-199.
- Vásquez Y. 2017. Evaluación de los diferentes factores que afectan la reproducción bovina con relación a bienestar animal [Tesis]. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 30 p.