

Sincronización de estro en vaquillas criollas Lechero Tropical puras y mestizas

Adalberto Rosendo Ponce¹, Froylan Rosales Martínez¹, Leticia Cruz Reyes², Rodolfo Canseco Sedano², Jaime Gallegos Sánchez³, Carlos Miguel Becerril Pérez*¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México. ²Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Veracruz, México. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. *Correo electrónico: color@colpos.mx

RESUMEN

La sincronización del estro es una biotecnología reproductiva que permite agrupar hembras para un uso intensivo de la Inseminación Artificial (IA) y un mejor seguimiento de las gestaciones y la temporada de partos. El objetivo del estudio fue comparar la efectividad de la gonadotropina corionica equina (eCG) y la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en la manifestación y duración del estro, del ciclo estral y la tasa de gestación de vaquillas criollas Lechero Tropical (LT) y mestizas (MZ), sincronizadas con norgestomet. El estudio se realizó en Veracruz, México, en un clima cálido subhúmedo. Los tratamientos hormonales (eCG o GnRH) fueron usados en un protocolo de sincronización y asignados aleatoriamente por genotipos a 34 vaquillas, 19 LT y 15 MZ. El protocolo de sincronización constó de 3 mg de norgestomet implantados en la oreja y 3 mg inyectados, más 5 mg de valerato de estradiol. La duración del estro y del ciclo estral se analizó con un modelo de efectos fijos. La presencia de estro, tasa de gestación y tasa de gestación global se evaluaron mediante la prueba exacta de Fisher. Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS. No se observó diferencia estadística ($P>0,05$) entre tratamientos hormonales ni entre genotipos; la tasa de gestación global de 75,7% obtenida puede considerarse satisfactoria para el clima cálido tropical en el cual se realizó el estudio.

Palabras clave: Bovino criollo, clima cálido, hormonas, respuesta reproductiva.

Estrous synchronization in pure and crossbred criollo Tropical Milking heifers

ABSTRACT

Estrous synchronization is a reproductive biotechnology that allows grouping females for an intensive use of Artificial Insemination (AI) and better monitoring of pregnancies and calving season. The aim of this research was to compare the effectiveness of equine chorionic gonadotropin (eCG) and gonadotropin releasing hormone (GnRH) in the appearance and duration of estrous, estrous cycle and pregnancy rate of Tropical Milking criollo (LT) and crossbred (MZ) heifers, synchronized with norgestomet. The study was conducted in Veracruz, Mexico, in a subhumid hot climate. The hormonal treatments (eCG or GnRH) were used in a synchronization protocol and randomly assigned by genotypes to LT 34 heifers, 19 LT and 15 MZ. The synchronization protocol consisted of 3 mg of norgestomet implanted in the ear and 3 mg injected, plus 5 mg of estradiol valerate. The estrous duration and estrous cycle were analyzed with a fixed effects model. The estrous presence, pregnancy rate and overall pregnancy rate were evaluated by Fisher's exact test. The data were analyzed using the SAS statistical package. No statistical difference ($P>0.05$) was observed between hormonal treatments nor among genotypes; the overall pregnancy rate of 75.7% obtained, can be considered satisfactory for the tropical hot climate in which the study was conducted.

Key words: Criollo cattle, hot climate, hormones, reproductive response.

INTRODUCCIÓN

La sincronización de estros es un medio efectivo para aumentar la proporción de hembras gestantes al inicio del periodo de apareamientos, incrementar la tasa de concepción (Orihuela 2000) y potenciar el uso de la IA (Ryan *et al.* 1995, Bó *et al.* 2013).

Con la aplicación de distintos productos hormonales es posible controlar de manera farmacológica el desarrollo del folículo ovárico, la ovulación, el ciclo estral y finalmente incrementar la eficiencia reproductiva (MacMillan y Peterson 1993, Cavalieri *et al.* 2006, Colazo *et al.* 2007). Entre las hormonas utilizadas para controlar el estro, se encuentran las que prolongan la vida media funcional del cuerpo lúteo, tal como la progesterona (P4) o análogos sintéticos de la misma (MacMillan y Burke 1996).

La aplicación de estradiol (E2) junto a P4 en el primer día de los protocolos de sincronización, suprime el desarrollo folicular y genera la aparición sincrónica de una nueva onda folicular acompañada de incrementos en las concentraciones de hormona luteinizante (LH) y hormona folículo estimulante (FSH) después de 36 horas (Bó *et al.* 1994).

Sin embargo, para sincronizar grupos de hembras en diferentes etapas del ciclo estral, se ha integrado el uso de eCG y GnRH para provocar la ovulación y posterior luteinización del folículo dominante y favorecer la fertilidad en las hembras (Schmitt *et al.* 1996, Ramírez *et al.* 2000). La aplicación de eCG aunada a implantes o dispositivos conteniendo P4 o un análogo, propicia un mayor diámetro del folículo dominante, con lo cual se obtienen elevadas tasas de ovulación debido a que un folículo más grande produce mayor cantidad de estradiol y aumenta la capacidad de generar el pico preovulatorio de LH (Sá Filho *et al.* 2010, Marquezini *et al.* 2013).

En otros estudios, se ha comprobado que en los protocolos de sincronización la aplicación de GnRH después de retirado el implante o dispositivo conteniendo P4, mejora la ovulación del folículo dominante y se obtienen mayores tasas de gestación (Troxel *et al.* 1993, Bó *et al.* 2002).

La raza criolla Lechero Tropical (LT) es un *Bos taurus* que descende del ganado introducido a América en el siglo XV durante la conquista y colonización española (de Alba 2011, Rosendo-Ponce y Becerril-Pérez 2015). Las vaquillas LT tienen edad al primer parto de 1207 días y 1,57 servicios por concepción, lo que evidencia más de 500 años de adaptación a los climas cálidos tropicales (Rosendo-Ponce y Becerril-Pérez 2002).

En México, desde la década de los 60 del siglo XX, la raza LT se selecciona para aumentar su producción de leche en lactancias de 305 d (Santellano-Estrada *et al.* 2008, 2011). La raza LT es un recurso genético valioso para obtener vigor híbrido con hembras mestizas (MZ), resultantes de su cruzamiento con razas europeas o cebuinas (Cunningham y Syrstad 1987, de Alba 2011), pero es poco conocida la respuesta de la hembra LT a la sincronización de estros; Guerrero *et al.* (2011) y Montiel *et al.* (2011), evaluaron el comportamiento reproductivo de vacas y vaquillas LT sincronizadas con prostaglandina F2 α (PGF2 α) y observaron una tasa de manifestación de estros de 67 y 100% respectivamente, así como una duración media del estro de 16,2 \pm 1 y 10,2 \pm 7,8 horas, respectivamente; sin embargo, es necesario conocer la respuesta a la sincronización de estros con el uso de progestágenos tal como los protocolos de IA, lo que permitirá establecer programas reproductivos de mayor impacto de la LT en la ganadería de climas cálidos.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar la efectividad de dos métodos de sincronización de estros (eCG y GnRH) fundamentados en el uso de norgestomet en vaquillas LT y MZ.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el "Campus Veracruz" del Colegio de Postgraduados, localizado en el estado de Veracruz, a 19°11' N y 96°20' O y altura de 20 m.s.n.m. El clima de la región es Aw₀ (w) (i') gw'', cálido subhúmedo con lluvias en verano distribuidas de mayo a octubre, precipitación

y temperatura medias anuales de 1060 mm y 26,4°C (García 1987).

Animales experimentales

Se utilizaron 34 vaquillas nulíparas, 19 LT puras y 15 MZ (provenientes de sementales LT cruzados con vacas típicas de la región, que son una mezcla variable de ganado cebú con razas lecheras europeas, principalmente Holstein y Suizo Pardo), que fueron asignadas de manera aleatoria a dos tratamientos: (a) eCG (10 LT y 7 MZ) y (b) GnRH (9 LT y 8 MZ). El promedio para peso corporal y edad fue 316,3 ± 36,6 kg y 726,9 ± 155,9 días, respectivamente. Para la inseminación se utilizaron pajillas de semen proveniente de sementales LT, seleccionados por su superioridad genética para la producción de leche y de acuerdo al esquema de apareamientos rotacionales del hato, dividido en seis familias. La disponibilidad de hembras experimentales en estudios que involucran genotipos en peligro de extinción como el LT (FAO 2007, 2013) es escasa, lo que

puede constituir una limitante en estudios reproductivos de la raza.

Manejo y alimentación de las vaquillas

Las vaquillas se alimentaron en praderas de pará (*Brachiaria mutica*); se usó un sistema de rotación de potreros en una superficie total de ocho hectáreas, divididos en sub-potreros de una hectárea, con disponibilidad de agua y sales minerales *ad libitum*. La presencia de parásitos gastrointestinales y ectoparásitos fue controlada en todas las hembras del ensayo.

Tratamientos y protocolos de sincronización de estros

Las vaquillas de ambos grupos raciales fueron asignadas de manera aleatoria a un protocolo que incluyó eCG ó GnRH. Para homogenizar el ciclo estral, las vaquillas recibieron una inyección intramuscular de 15 mg de PGF2α (Prosolvín®,

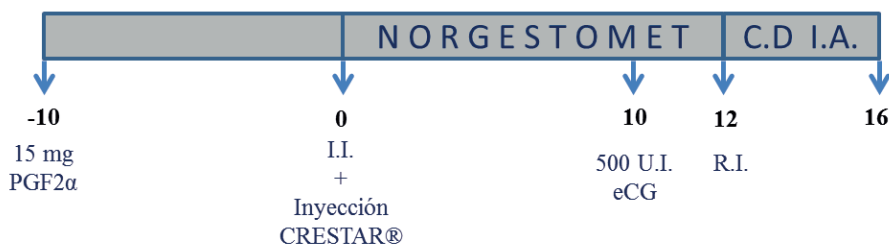


Figura 1. Protocolo de sincronización con eCG en vaquillas criollas Lechero Tropical y Mestizas. I.I.=inserción de implante, R.I.=retiro de implante, C.D.=calor detectado, I.A.=inseminación artificial.

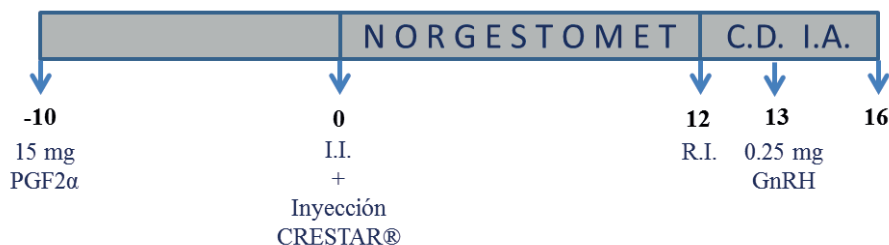


Figura 2. Protocolo de sincronización con GnRH en vaquillas criollas Lechero Tropical y Mestizas. I.I.=inserción de implante, R.I.=retiro de implante, C.D.=calor detectado, I.A.=inseminación artificial.

Intervet México.) 10 días antes de recibir el complemento de GnRH ó eCG.

Para sincronizar el estro en las vaquillas del ensayo se colocó un implante subcutáneo con 3 mg de norgestomet en la cara externa de la oreja y se administró vía intramuscular una dosis de 3 mg de norgestomet con 5 mg de valerato de estradiol (Crestar®, Intervet México) y se aplicaron 500 UI de eCG (Folligon®, Intervet México) ó 0,25 mg de GnRH (Gonadorelina Fertagyl®, Intervet México) según el grupo de tratamiento.

Los protocolos de aplicación de las hormonas se describen en las Figuras 1 y 2.

Variables de respuesta

Presencia de estro (PE; porcentaje): Se determinó la presencia de estro en las vaquillas que fueron sometidas a los tratamientos hormonales. La detección se realizó cada 4 horas en intervalos de 30 min durante 5 días, desde las 03:00 a las 23:30; el estro natural se observó durante los 19 a 23 días posteriores al retiro del implante. El inicio del estro se consideró cuando la vaquilla permaneció quieta y permitió la monta por otra, y su fin, cuando ya no aceptó la monta (Orihuela 2000). Signos de identificación de estro incluyeron el intento de montar y contacto físico con otras vaquillas, nerviosismo, marcas de monta en la base de la cola y costados y descargas vaginales claras y transparentes (Hernández 2012).

Duración de estro (DE; horas): Se determinó el tiempo transcurrido desde el inicio de los signos de identificación hasta el final de cada estro.

Duración del ciclo estral (DCE; días): Se determinó el periodo total del primer ciclo inducido.

Tasa de gestación (TG; porcentaje): Vaquillas detectadas en celo, que quedaron gestantes y fueron positivas al diagnóstico de gestación en relación al estro inducido y al estro natural por separado.

Tasa de gestación global (TGG; porcentaje): Vaquillas detectadas en celo, que quedaron gestantes y fueron positivas al diagnóstico de gestación en relación a los dos estros.

Las vaquillas en estro se inseminaron al inicio del mismo y 12 horas después. El diagnóstico de gestación se realizó por palpación rectal 65 días después de la segunda inseminación.

Análisis estadístico

Los datos DE y DCE se analizaron con el siguiente modelo de efectos fijos:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + G_j + HG_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde;

Y_{ijk} Característica de la i-ésima hormona, j-ésimo genotipo y k-ésima vaquilla.

μ = Constante común a los individuos de la población.

H_i = Efecto fijo de la hormona i-ésima (i = 1, 2).

G_j = Efecto fijo del genotipo j-ésimo (j = 1, 2).

HG_{ij} = Efecto de la interacción hormona por genotipo.

ϵ_{ijk} = Error aleatorio común a todas las observaciones. $\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

Los datos de PE, TG y TGG se evaluaron con la prueba exacta de Fisher. Todos los datos se procesaron con el paquete estadístico SAS (SAS 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos hormonales evaluados y ni entre genotipos ensayados ($P > 0,05$) para ninguna de las variables de respuesta.

Presencia de estro

29 vaquillas de las 34 sometidas a los tratamientos manifestaron estro de manera sincronizada (Cuadro 1).

Se ha reportado que las hembras *Bos indicus* y sus cruza con *Bos taurus* manifiestan un mejor comportamiento reproductivo que las hembras *Bos taurus* puras provenientes de climas templados y mantenidas en condiciones de climas cálidos tropicales (Sartori *et al.* 2010).

Sin embargo, en esta investigación no se encontró diferencia en la PE en vaquillas LT y MZ, pudiendo atribuirse a la gran adaptación de la raza

Cuadro 1. Presencia de estros (%) en vaquillas Lechero Tropical (LT) y Mestizas (MZ) sincronizadas con progestágenos y eCG ó GnRH.

Genotipo	eCG	GnRH	Total
Estro sincronizado			
LT	90,0	77,8	84,2
MZ	100,0	75,0	86,6
Total	94,1	76,4	85,3
Estro natural			
LT	66,6	100,0	83,3
MZ	----	80,0	80,0
Total	66,6	90,0	82,3

LT a los climas cálidos (de Alba 2011, Rosendo-Ponce y Becerril-Pérez 2015). Chaudhari *et al.* (2012) en la India, obtuvieron 100% de PE en vaquillas de la raza Kankrej sincronizadas con norgestomet, eCG y GnRH. Uribe y Robledo (2012) y Uribe-Velásquez *et al.* (2013) en Colombia con vacas mestizas *Bos taurus* x *Bos indicus* y Brahman estimaron PE de 66,4 y 66,7%, inferiores a lo observado en este estudio. Zeuh *et al.* (2014) en Chad, obtuvieron 77,7% de PE al sincronizar vacas de diferentes razas *Bos indicus*, utilizando un implante de norgestomet y eCG. Ozyurtlu *et al.* (2009) en Turquía obtuvieron 80% de PE al sincronizar vaquillas de la raza Holstein con un implante de norgestomet y una aplicación de GnRH.

La administración de eCG y GnRH antes de las 30 horas de retirado el implante mejora la tasa de ovulación en las hembras (do Valle *et al.* 1997). Una alta PE es importante en programas de sincronización de estros detectados por observación, ya que incide en el número de vacas que se podrán inseminar.

La presentación de estros superior a 80% en las vaquillas LT y MZ puede considerarse satisfactoria y superior a otros resultados obtenidos en condiciones tropicales cálidas similares.

Duración de estro

Aunque no se observaron diferencias estadísticas entre eCG y GnRH y entre LT y MZ, la DE natural fue menor en 4,3 horas que en el estro sincronizado (Cuadro 2).

El valor para DE sincronizado fue mayor al obtenido por Góngora y Hernández (2006) quienes reportaron valores de $14,1 \pm 0,8$ horas para DE en vaquillas criollas San Martinero, sincronizadas con norgestomet y eCG.

La eficacia en la observación directa para la detección de estros puede ser afectada por la duración del mismo (Pinheiro *et al.* 1998). Chaudhari *et al.* (2012) estimaron un valor DE de $25,6 \pm 2,9$ horas en vaquillas de la raza Kankrej. González *et al.* (2010) y Centurión-Castro *et al.* (2013) presentaron valores para DE menores de 13 horas, al sincronizar vacas Brahman y Beefmaster utilizando un implante de norgestomet, sin la aplicación de eCG ó GnRH.

Se ha reportado que la DE es menor en el ganado cebú, así como en sus cruces con ganado europeo (Sepulveda y Rodero 2003). El número de vaquillas que manifestaron estro natural fue menor a las que presentaron el estro sincronizado, lo cual pudo influir en su duración, debido a que la DE se ve afectada por el número de animales interactuando dentro de un hato (Van Vliet y Van Eerdenburg 1996).

Cuadro 2. Duración de estro (horas) en vaquillas Lechero Tropical (LT) y Mestizas (MZ), sincronizadas con progestágenos y eCG ó GnRH (Medias mínimo cuadráticas \pm error estándar).

Genotipo	eCG	GnRH	Total
Estro sincronizado			
LT	20,7 \pm 3,5	20,8 \pm 2,6	20,7 \pm 3,1
MZ	19,8 \pm 2,8	19,3 \pm 1,5	19,6 \pm 2,3
Total	20,3 \pm 3,2	20,1 \pm 2,3	20,2 \pm 2,8
Estro natural			
LT	13,4 \pm 1,5	16,2 \pm 8,6	15,1 \pm 6,9
MZ	-----	17,9 \pm 4,3	17,9 \pm 4,3
Total	23,5 \pm 1,5	16,9 \pm 7,3	15,9 \pm 6,4

Cuadro 3. Duración del ciclo estral natural (d) en vaquillas Lechero Tropical (LT) y Mestizas (MZ), sincronizadas con progestágenos y eCG ó GnRH (Medias mínimo cuadráticas \pm error estándar).

Genotipo	eCG	GnRH	Total
LT	23,5 \pm 1,5	21,2 \pm 1,6	22,3 \pm 1,9
MZ	-----	18,5 \pm 1,5	18,5 \pm 1,5
Total	23,5 \pm 1,5	20,3 \pm 2,0	21,6 \pm 2,4

Duración del ciclo estral

La DCE tanto de las vaquillas LT como de las MZ estuvo dentro del rango de 18 a 24 días, sin diferencia entre las hormonas utilizadas (Cuadro 3).

Niasari-Naslaji *et al.* (2012) usaron un implante de norgestomet y administraron GnRH cuatro días después del implante en vaquillas Holstein y obtuvieron un valor de 19,7 \pm 0,3 días para DCE. Favero *et al.* (1993) usaron implantes de norgestomet para sincronizar estros en vaquillas Angus y Angus-Hereford x Simental y obtuvieron un valor de 18,7 días para DCE. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio en vaquillas LT y MZ.

Existen diversos factores que afectan la duración del ciclo estral en las hembras bovinas mantenidas en condiciones tropicales cálidas, entre los cuales se encuentra la raza y la edad. Se ha comprobado que las vaquillas presentan ciclos estrales más cortos en relación a vacas multíparas. La sincronización de estros usando

progestágenos permite agrupar las vaquillas que no resultaron gestantes en el estro sincronizado y obtener un mayor porcentaje acumulado en el siguiente estro natural (Favero *et al.* 1993).

En este estudio, se puede observar que la inclusión de eCG ó GnRH en el protocolo de sincronización no influyó en la DCE natural, debido a que la media estimada de 21 días en condiciones de trópico cálido, se considera satisfactoria para vaquillas LT y MZ.

Tasa de gestación

Los resultados para la TG se presentan en el Cuadro 4. Aunque sin diferencia estadística, en el estro sincronizado se observó más de 20% de vaquillas gestantes sincronizadas con eCG en relación a GnRH.

Chaudhari *et al.* (2012) usaron norgestomet y eCG para sincronizar el estro en vaquillas Kankrej y obtuvieron valores de TG de 33,3 y 50% en el estro natural, similar al obtenido en este estudio.

Cuadro 4. Porcentaje de gestación del estro sincronizado y natural en vaquillas Lechero Tropical (LT) y Mestiza (MZ), sincronizadas con progestágenos y eCG ó GnRH.

Genotipo	eCG	GnRH	Total
Estro sincronizado			
LT	44,4	42,8	43,7
MZ	100,0	50,0	76,9
Total	68,8	46,2	58,6
Estro natural			
LT	50,0	66,6	60,0
MZ	---	50,0	50,0
Total	50,0	60,0	57,1

Cuadro 5. Porcentaje de gestación global en vaquillas Lechero Tropical (LT) y Mestizas (MZ) sincronizadas con progestágenos y eCG ó GnRH.

Genotipo	eCG	GnRH	Total
LT	66,7	77,7	72,2
MZ	100,0	62,5	80,0
Total	81,2	70,5	75,7

Uribe-Velásquez *et al.* (2013) sincronizaron el estro en vacas Brahman usando un implante de norgestomet complementado con la administración de eCG y obtuvieron 60% de TG en el estro inducido. Cetin *et al.* (2007) y Ozyurtlu *et al.* (2009) utilizando GnRH en vaquillas Holstein y obtuvieron un valor de TG de 44,0 y 48,2% después de retirar el implante en los días 11 y 13.

Se ha reportado que tratamientos con eCG incrementan el desarrollo del folículo dominante y por consiguiente la ovulación de un folículo más grande, que resulta en un cuerpo lúteo más desarrollado y funcional, coadyuvando a la supervivencia del embrión (Murphy y Martinuk 1991), lo anterior pudo influir en los resultados obtenidos del estro sincronizado de vaquillas LT y MZ.

Tasa de gestación global

No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos hormonales evaluados y ni para los genotipos ensayados, en el Cuadro 5 se observa que la TGG del experimento fue superior

a 75%, resultado muy satisfactorio en relación a las condiciones climáticas de altas temperaturas y humedad relativa del clima cálido.

Chaudhari *et al.* (2012) obtuvieron 50% de TGG después de tres ciclos reproductivos. La aplicación de eCG en vaquillas LT y MZ mejoró el porcentaje en la TGG, esto se puede atribuir a un mejor desarrollo del folículo dominante, que puede dar origen a un cuerpo lúteo más funcional, con mayor producción de P_4 , mejorando las tasas de gestación.

CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. La tasa de gestación global de 75.7%, puede considerarse un resultado positivo, bajo las condiciones de clima cálido tropical en las cuales se llevó a cabo el estudio. Las variables reproductivas se miden en conteos, frecuencias o escalas de clasificación u orden, por lo que es deseable contar con mayor número de animales experimentales, es decir un mayor tamaño

de la muestra; sin embargo, la disponibilidad de los mismos es escasa en genotipos con censos y tamaños efectivos de población limitados, como es el caso de la raza Lechero Tropical.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de la presente investigación; así como al campus Veracruz del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas.

LITERATURA CITADA

- Bó, GA; Adams, GP; Pierson, RA; Tribulo, HE; Caccia, M; Mapletoft, RJ. 1994. Follicular wave dynamics after estradiol-17 β treatment of heifers with or without a progestogen implant. *Theriogenology* 41(8):1555-1569.
- Bó, GA; Baruselli, PS; Mapletoft, RJ. 2013. Synchronization techniques to increase the utilization of artificial insemination in beef and dairy cattle. *Animal Reproduction* 10(3):137-142.
- Bó, GA; Cutaia, L; Tríbulo, R. 2002. Tratamientos hormonales para inseminación artificial a tiempo fijo en bovinos para carne: algunas experiencias realizadas en Argentina. *Taurus* 4(14):10-21.
- Cavaleri, J; Hepworth, G; Fitzpatrick, LA; Shephard, RW; Macmillan, KL. 2006. Manipulation and control of the estrous cycle in pasture based dairy cows. *Theriogenology* 65(1):45-64.
- Centurión-Castro, F; Orihuela-Porcayo, J; Aké-López, RJ; Magaña-Monforte, JG; Montes-Pérez, RC; Segura-Correa, JC. 2013. Effect of body condition score on estrus and ovarian function characteristics of synchronized Beef-Master cows. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16(2):193-199.
- Cetin, Y; Uslu, BA; Gungor, O; Sendag, S. 2007. Induction of oestrus with norgestomet in acyclic post-pubertal Holstein heifers. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy* 51(2): 247-251.
- Chaudhari, CF; Suthar, BN; Sharma, VK; Dabas, VS; Chaudhari, NF; Panchasara, HH. 2012. Estrus induction and fertility response in delayed pubertal Kankrej heifers treated with norgestomet ear implant. *Veterinary World* 5(8):453-458.
- Colazo, MG; Mapletoft, RJ; Martínez, MF; Kastelic, JP. 2007. El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el celo y la ovulación en vaquillonas. *Ciencia Veterinaria* 9(1): 4-19.
- Cunningham, EP; Syrstad, O. 1987. Crossbreeding *Bos indicus* and *Bos taurus* for milk production in the tropics. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome). 90 p. (FAO Animal Production and Health Paper, v. 68)
- de Alba Martínez, J. 2011. El libro de los Bovinos Criollos de América. Biblioteca Básica de Agricultura. Ed. Colegio de Postgraduados. México. 444 p.
- doValle, ER; Cruz, LC; Kesler, DJ. 1997. Gonadotropin-releasing hormone enhances the calving rate of beef females administered norgestomet and alfaprostol for estrus synchronization. *Journal of Animal Science* 75(4):897-903.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy). 2007. The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rischkowsky, B; Pilling, D (eds.). Rome, Italy. 511 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy). 2013. *In vivo* conservation of animal genetic resource. Section 2: Identifying breeds at risk. Page 31-33. (FAO Animal Production and Health Guidelines, v. 14)
- Favero, RJ; Faulkner, DB; Kesler, DJ. 1993. Norgestomet implants synchronize estrus and enhance fertility in beef heifers subsequent to a timed artificial insemination. *Journal of Animal Science* 71(10):2594-2600.

- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4 ed. Instituto de Geografía. UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 191 p.
- Góngora, A; Hernández, A. 2006. Comportamiento sexual, duración del estro y del ciclo estral en novillas criollas San Martineras y Brahman del piedemonte llanero colombiano. (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 18(1). Consultado 6 nov. 2014. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd18/1/gong18001.htm>.
- González-Tous, M; Ruiz-Valencia, E; Hoyos-García, LA; Prieto-Manrique, E; Betancur-Hurtado, C. 2010. Comportamiento sexual de vacas Brahman en una región del Caribe colombiano. *Orinoquia* 14(2):168-177.
- Guerrero, HLJ; Pérez-Hernández, P; López-Ortiz, S; Montiel-Palacios, F; Estrella-García, A; Ahuja-Aguirre, C. 2011. Sincronización del estro con PGF2 α y conducta estrual en vacas Criollo Lechero Tropical. *Archivos de Zootecnia* 60(231):829-832.
- Hernández Cerón, J. 2012. Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros. UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 172 p.
- MacMillan, KL; Peterson, AJ. 1993. A new intra-vaginal progesterone releasing device for cattle (CIDR-B) for oestrus synchronisation, increasing pregnancy rates and the treatment of post-partum anoestrus. *Animal Reproduction Science* 33(1-4):1-25.
- MacMillan, KL; Burke, CR. 1996. Effects of oestrous cycle control on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science* 42(1-4):307-320.
- Marquezini, GHL; Mercadante, VRG; Olson, KC; Jaeger, JR; Perry, GA; Stevenson, JS; Lamb, GC. 2013. Effects of equine chorionic gonadotropin on follicle development and pregnancy rates in suckled beef cows with or without calf removal. *Journal of Animal Science* 91(3):1216-1224.
- Montiel Palacios, F; Pérez Hernández, P; Gallegos Sánchez, J; Rosendo Ponce, A. 2011. Manifestación de estro y gestación en vaquillas Criollo Lechero Tropical sincronizadas con dosis baja de PGF2 α . *Zootecnia Tropical* 29(2):179-185.
- Murphy, BD; Martinuk SD. 1991. Equine chorionic gonadotropin. *Endocrine Reviews* 12(1):27-44.
- Niasari-Naslaji A; Eslami, M; Nazem, Y. 2012. Ovulatory response of different GnRH analogues and subsequent corpus luteum lifespan in the presence of norgestomet in Holstein heifers. *Iranian Journal of Veterinary Research* 13(1):36-41.
- Orihuela, A. 2000. Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Applied Animal Behaviour Science* 70(1):1-16.
- Ozyurtlu, N; Cetin, Y; Kucukaslan, I; Kocamuftuoglu, M. 2009. Induction of oestrus with norgestomet ear implant and PRID in acyclic Holstein heifers. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8(5):1035-1039.
- Pinheiro, OL; Barros, CM; Figueiredo, RA; do Valle, ER; Encarnação, RO; Padovani, CR. 1998. Estrous behavior and the estrus to ovulation interval in Nelore cattle (*Bos indicus*) with natural estrus induced with prostaglandin F2 α or norgestomet and estradiol valerate. *Theriogenology* 49(3):667-681.
- Ramírez-Godínez, JA; Rodríguez-Almeida, FA; Espinoza-Campa OM; Valdés-Saucedo, R. 2000. Uso de la PMSG o PGF2 α al retirar el implante del SMB en vacas productoras de carne. *Agrociencia* 34(4):423-428.
- Rosendo-Ponce, A; Becerril-Pérez, CM. 2002. Productive performance and genetic parameters in the Tropical Milking Criollo cattle in Mexico. *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics and Applied Livestock Production, 2002, Montpellier, France. Disco compacto*.
- Rosendo-Ponce, A; Becerril-Pérez, CM. 2015. Avance en el conocimiento del bovino Criollo Lechero Tropical de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(5):233-243.

- Ryan, DP; Snijders, S; Yaakub, H; O'Farrell, KJ. 1995. Effects of programmed recruitment and ovulation of a healthy follicle on oestrus detection and pregnancy rates in lactating dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility Abstract Series* 15(23). Solo resumen.
- Sá Filho, MF; Ayres, H; Ferreira, RM; Marques, MO; Reis, EL; Silva, RCP; Rodrigues, CA; Madureira, EH; Bó, GA; Baruselli, PS. 2010. Equine chorionic gonadotropin and gonadotropin-releasing hormone enhance fertility in a norgestomet-based, timed artificial insemination protocol in suckled Nelore (*Bos indicus*) cows. *Theriogenology* 73(5):651-658.
- Santellano-Estrada, E; Becerril-Pérez, CM; de Alba, J; Chang, YM; Gianola, D; Torres-Hernández, G; Ramírez-Valverde, R. 2008. Inferring genetic parameter of lactation in Tropical Milking Criollo cattle with random regression test-days models. *Journal of Dairy Science* 91(11):4393-4400.
- Santellano-Estrada, E; Becerril-Pérez, CM; Chang, YM; Gianola, D; Torres-Hernández, G; Ramírez-Valverde, R; Domínguez-Vivieros, J; Rosendo-Ponce, A. 2011. Caracterización de la lactancia y evaluación genética del ganado Criollo Lechero Tropical utilizando un modelo de regresión aleatoria. *Agrociencia* 45(2):165-175.
- Sartori, R; Bastos, MR; Baruselli, PS; Gimenes, LU; Ereno, RL; Barros, CM. 2010. Physiological differences and implications to reproductive management of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle in a tropical environment. *Society of Reproduction and Fertility Supplement* 67:357-375.
- SAS Institute. 2010. SAS 9.3 for Windows. SAS Institute Incorporated. Cary. NC. USA.
- Schmitt, EJ; Drost, M; Díaz, T; Roomes, C; Thatcher, WW. 1996. Effect of a gonadotropin-releasing hormone agonist on follicle recruitment and pregnancy rate in cattle. *Journal of Animal Science* 74(1):154-161.
- Sepúlveda, N; Rodero, E. 2003. Comportamiento sexual durante el estro en vacas lecheras. *Interciencia* 28(9):500-503.
- Troxel, TR; Cruz, LC; Ott, RS; Kesler, DJ. 1993. Norgestomet and gonadotropin-releasing hormone enhance corpus luteum function and fertility of postpartum suckled beef cows. *Journal of Animal Science* 71(10):2579-2585.
- Uribe-Velásquez, L; Correa-Orozco, A; Cuartas-Betancurth, L; Villamizar-Ramírez, D; Ángel-Botero, S. 2013. Evaluación de implantes de norgestomet reutilizados en protocolos de sincronización del estro en vacas Brahman. *Revista MVZ Córdoba* 18(1):3336-3345.
- Uribe Valderrama, R; Robledo Vélez, E. 2012. Uso de dispositivos auriculares de norgestomet en inseminación artificial a tiempo fijo en bovinos doble propósito, con amamantamiento permanente. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 7(1):63-71.
- Van Vliet, JH; Van Eerdenburg, FJCM. 1996. Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science* 50(1):57-69.
- Zeuh, V; Youssouf, ML; Dingamtar, N; Dezoumbe, D. 2014. Evaluation of two methods of estrus synchronization of cattle in Chad. *Open Journal of Animal Sciences* 4(1):13-17.