
Artículo científico

Evaluación de protocolos de sincronización para inseminación artificial con y sin estrógenos en novillas

María Carolina Guillén-Alvarado¹, Juan Ignacio Herrera-Muñoz², Carlos Arroyo-Oquendo³, Shirley Rojas-Salazar⁴, Roger Molina-Coto⁵

RESUMEN

La reproducción constituye un pilar fundamental en los sistemas de producción pecuaria, y el uso de biotecnologías reproductivas representa una herramienta clave para optimizar la eficiencia y el manejo reproductivo en las unidades de producción. En el presente estudio se evaluó el uso de dos protocolos de sincronización para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) con (P4E2) y sin (GnRH-PG) estradiol en novillas (30 brahman y 30 simbrah F1). Se realizaron ultrasonografías en los días de aplicación del protocolo y 7 días después de la IATF para analizar la respuesta ovárica. Se tomaron muestras de sangre en 24 novillas del

¹Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica 1501-2060, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: maria.guillenalarado@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2954-0492>).

²Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica 1501-2060, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: juanignacio.herrera@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-5004-0826>).

³Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica 1501-2060, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: carlos.arroyo@ucr.ac.cr.

⁴Escuela de Estadística, Universidad de Costa Rica 1501-2060, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: shirleyelena.rojas@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2117-5769>).

⁵Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica 1501-2060, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: roger.molinacoto@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-3844-2587>).

Recibido: 7 marzo 2024 Aceptado: 30 abril 2025

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



experimento para evaluar las concentraciones de progesterona durante y después del protocolo de sincronización. La tasa de preñez se determinó al día 35 post servicio. Adicionalmente, se llevó a cabo un ensayo de campo con los mismos protocolos del experimento, enfocándose únicamente en la preñez. En cuanto a la respuesta en actividad ovárica, los animales tratados con P4E2 presentaron más cantidad de folículos de clase 3 en los días 7 y 9 que los tratados con GnRH-PG ($p = 0.0413$). Mientras que, en los mismos días, en el total de folículos clase 1 (TF1), los animales sincronizados con P4E2 presentaron menor cantidad que los sincronizados con GnRH-PG ($p = 0.0295$). En cuanto a niveles de progesterona, no hubo diferencia entre los tratamientos ($p = 0.3483$). Para el diagnóstico de preñez 1 (DP1), solo se preñaron animales pertenecientes al grupo racial simbrah F1 y el diagnóstico de preñez acumulado (DPA) fue afectado por el grupo racial ($p = 0.0169$), no por los protocolos. Tanto en el experimento como en el ensayo de campo, se evidenció que los protocolos tuvieron un desempeño similar en las evaluaciones realizadas y en los porcentajes de preñez obtenidos en cada protocolo, lo cual representa que ambos protocolos son viables para la sincronización de novillas de carne para inseminación artificial a tiempo fijo.

Palabras claves: ganado de carne, trópico, estrógenos, dinámica ovárica, preñez.

ABSTRACT

Evaluation of synchronization protocols for artificial insemination with and without estrogens in heifers. Reproduction is basic for any livestock production system, and reproductive biotechnologies help in farm management. The use of two synchronization protocols for timed artificial insemination (TAI) with (P4E2) and without (GnRH-PG) estradiol in heifers (30 Brahman and 30 Simbrah F1) was evaluated. Ultrasonography was performed on the protocol's application days and 7 days post-TAI to evaluate the ovarian response. Blood samples were collected from 24 heifers in the experiment to assess progesterone concentrations during and

after the synchronization protocol for TAI. Pregnancy outcomes were determined on day 35 post-breeding. Additionally, a field trial was conducted using the same experimental protocols, focusing solely on pregnancy assessment. Regarding the response in ovarian activity, animals treated with P4E2 presented a greater number of class 3 follicles on days 7 and 9 than those treated with GnRH-PG ($p = 0.0413$). While, on the same days, in the total number of class 1 follicles (TF1), animals synchronized with P4E2 presented less quantity than those synchronized with GnRH-PG ($p = 0.0295$). Regarding progesterone levels, there was no difference between treatments ($p = 0.3483$). For pregnancy diagnosis 1 (DP1), only animals belonging to the Simbrah F1 breed group got pregnant, and the cumulative pregnancy diagnosis (DPA) was affected by the breed group ($p = 0.0169$), not by the protocols. In both the experiment and the field trial, it was shown that the protocols had a similar performance in the evaluations carried out and in the percentage of pregnancy obtained in each protocol, which indicates that both protocols are viable for the synchronization of beef heifers for timed artificial insemination.

Keywords: beef cattle, tropic, estrogens, ovarian dynamics, pregnancy.

1 INTRODUCCIÓN

2

3 Para reducir el intervalo entre partos y obtener la meta de una cría al año, tanto en ganado de
4 leche como de carne, se busca preñar a los animales lo más rápido posible, posterior al periodo
5 de espera voluntario post parto (Mejía et al., 2004). Para lograr este ideal, la vaca se debe
6 preñar como máximo a los 82 días post parto, considerando una longitud de gestación
7 promedio de 283 días (Cutaia, 2005).

8 En climas tropicales, se utiliza ganado *Bos indicus* y sus cruces, esto ligado a su capacidad de
9 adaptación para los desafíos ambientales por clima y enfermedades. Sin embargo, debido a
10 esta adaptación, el ganado cebú tiene periodos más largos de anestro posparto, lo que
11 contribuye a una pobre eficiencia reproductiva cuando se compara con ganado *Bos taurus*.
12 Además, el ganado cebú tiene el comportamiento de celo más corto que el de las razas
13 europeas (Meneghetti et al., 2009; Cooke et al., 2020), por lo tanto, estos y otros factores, como
14 la deficiente detección del celo, carencias nutricionales, retos metabólicos en vacas de alta
15 producción y estrés calórico, afectan la respuesta reproductiva ideal (Huanca, 2001; Cutaia y
16 Bó, 2002).

17 Cuando se realizan servicios artificiales no sincronizados, la tasa de servicio depende
18 directamente de la detección del celo. Existen múltiples estrategias para mejorar su
19 identificación, como el aumento de observaciones visuales, el uso de pintura en la grupa, toros
20 desviados, hembras androgenizadas, "chinball", parches, palpación rectal, podómetros,
21 collares, entre otros. Sin embargo, a pesar de estas herramientas, la detección del celo sigue
22 siendo un desafío persistente en las explotaciones ganaderas (Catalano y Callejas, 2001; Cutaia
23 y Bó, 2002; Bertín, 2008).

24 A pesar de esta dificultad, la inseminación artificial (IA) es una técnica reproductiva
25

ampliamente utilizada que favorece la mejora genética, tiene un bajo costo y ofrece buenos resultados (Vishwanath, 2003; Giraldo, 2007). Para mitigar los problemas asociados a la detección del celo, surge la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), una estrategia que aumenta tanto la tasa de servicio como la de preñez, al permitir la inseminación de las hembras sin depender de la manifestación ni la detección del celo (Cutaia, 2005; Bó et al., 2008).

La sincronización para IATF emplea hormonas exógenas para controlar el momento de la ovulación, lo que facilita la inseminación de un gran número de animales en un corto período de tiempo (Colazo et al., 2004). Por lo tanto, la IATF permite prescindir de la detección del celo, reducir el tiempo de inseminación y manejo en corral, acortar el período de anestro posparto y eliminar el problema de los celos silenciosos. Además, facilita que alrededor del 50% de los vientres se preñen en el primer servicio. Como resultado, se obtienen terneros más pesados al destete debido a la mejora genética y a la edad, mientras que la concentración de partos optimiza el manejo en finca (Cutaia, 2005).

Existen múltiples protocolos para la sincronización de la ovulación e IATF en novillas y vacas de leche o carne, tanto en anestro como en ciclo reproductivo. Algunos incluyen el uso de un dispositivo intravaginal con progesterona (P4), combinado con la aplicación intramuscular de hormonas, como la prostaglandina (PGF2 α), el benzoato de estradiol (EB), el cipionato de estradiol (ECP), el valerato de estradiol (EV), la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y la gonadotropina coriónica equina (eCG). Estos protocolos logran aproximadamente un 50% de preñez en el primer servicio (Cutaia, 2006).

Sin embargo, el uso de estradiol ha sido objeto de debate, lo que llevó a su prohibición en protocolos de sincronización de la ovulación en Estados Unidos y en la Unión Europea (Romero y Romero, 2012; Bó y Menchaca, 2023).

Siguiendo esta misma línea y con el objetivo de minimizar el uso de ciertos esteroides, la Unión Europea prohibió en 1981 los compuestos estrogénicos utilizados como promotores de

crecimiento en ganado de carne. Posteriormente, en octubre de 2006, restringió el uso de 17- β -estradiol y sus derivados en protocolos de sincronización para inseminación artificial en ganado de carne y leche (Lane et al., 2008). Los estrógenos han demostrado ser eficaces en los programas de sincronización, por lo que en regiones como Centro y Sudamérica su uso sigue siendo común (Quijano-Pérez et al., 2015). No obstante, en el mercado existen alternativas para la sincronización del estro que no dependen de estrógenos ni de sus derivados (DCRC, 2024; BRTF, 2024). Actualmente, se están evaluando opciones de sincronización sin estradiol en sistemas ganaderos de pastoreo, donde las vacas suelen presentar baja condición corporal y un alto porcentaje de anestro. Estas alternativas han mostrado resultados prometedores, aunque aún se requiere más investigación (Cuadrado et al., 2021).

Asimismo, en la biotecnología de producción de embriones *in vivo*, se han realizado estudios utilizando dispositivos liberadores de P4 y GnRH sin el uso de estradiol, obteniéndose resultados similares en la respuesta superovulatoria entre estos y los protocolos que utilizan estrógenos (Carballo-Guerrero, 2012).

A pesar de que en Costa Rica no hay limitantes para el uso controlado de estrógenos en los protocolos para sincronización, hay probabilidad de que en el futuro se restrinja su uso. Este estudio evalúa el desempeño de dos protocolos para sincronización e inseminación artificial en novillas brahman y cruzadas (simbrah F1) en un sistema estabulado, con el objetivo de generar información para que los ganaderos dispongan de alternativas para el manejo reproductivo de sus hatos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración

El estudio se realizó en la "Finca de Producción Animal" (FPA) de la Escuela de Zootecnia, de la Universidad de Costa Rica. Esta se ubica dentro de la "Estación Experimental Los Diamantes" en la provincia de Limón, cantón de Pococí, distrito de Guápiles, bajo el convenio de cooperación (CV-090-2012) entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Costa Rica (UCR). La posición geográfica de la finca es 10°, 13' latitud Norte y 86°, 46' longitud Oeste, con una altitud de 249 m s. n. m., una temperatura promedio de 24,5 °C, una humedad relativa promedio de 82,3% y una precipitación promedio de 321,7 mm mensuales (Molina-Coto et al., 2020). El estudio se llevó a cabo de marzo del 2017 a julio del 2018.

Animales

Se utilizaron 60 hembras bovinas criadas hasta el destete en la provincia de Guanacaste, Costa Rica: 30 del grupo racial brahman y 30 simbrah F1 (50 % simmental y 50 % brahman). Cada grupo racial provino de una única finca y todos los animales llegaron a la FPA al mismo tiempo, con una edad promedio de 8 meses y un peso medio de 220 kg (203 kg para brahman y 238 kg para simbrah F1). Durante el experimento, se excluyeron dos animales simbrah F1. Los bovinos utilizados en este estudio fueron los mismos descritos por Guillén-Alvarado et al. (2023). Además, el proyecto contó con la aprobación de la Comisión Institucional para el Cuido y Uso de Animales (CICUA-012-17).

Las terneras permanecieron estabuladas en 10 corrales, cada uno de 35 m², con 6 animales por corral. Los corrales estaban ubicados dentro de un único galpón techado y contaban con una canoa para alimentación, un saladero y un bebedero. Además, se realizaba un lavado diario de los corrales.

Alimentación

Todos los animales fueron alimentados con una dieta idéntica compuesta por pasto king grass (*Pennisetum purpureum*) cortado a los 60 días de crecimiento, banano verde, cáscara de banano maduro, alimento balanceado diseñado para el crecimiento y la reproducción, urea y minerales. La fórmula de alimento balanceado para crecimiento (desde llegada a la finca hasta los 14 meses de edad) tuvo un contenido nutricional de 16% de proteína cruda (PC), 3250 kcal/kg de energía digestible (ED), 1,10% de calcio (Ca) y 0,4% de fósforo (P). Mientras que la fórmula para reproducción (a partir de los 14 meses de edad) contenía 13% de PC, 3225 kcal/kg de ED, 1% de Ca y 0,4% de P. Cada animal recibió diariamente 2,5 kg de alimento balanceado y 107 g de urea, mientras que los otros componentes se ofrecieron para consumo libre.

Posición del tracto reproductivo

A los 19 meses de edad, se asignó una puntuación según la posición del tracto reproductivo con respecto a la cavidad pélvica y su tamaño mediante palpación transrectal, siguiendo la clasificación propuesta por Young et al. (2017). En esta clasificación, SPS1 indica que el tracto reproductivo completo está dentro de la cavidad pélvica, SPS2 significa que solo el cérvix está dentro de la cavidad pélvica, mientras que los cuernos uterinos están fuera, y SPS3 corresponde a tractos reproductivos donde tanto el cuello uterino como los cuernos están fuera de la cavidad pélvica. Los números asignados (1, 2 o 3) reflejan el tamaño del tracto reproductivo, siendo 1 pequeño y compacto, 2 intermedio y 3 grande.

Condición Corporal

Los animales se clasificaron según su condición corporal, mediante un puntaje de 1 a 5, donde 1 es extremadamente delgado y 5 extremadamente gordo, esto a través de la apreciación visual. A pesar de que en ganado de carne se puede utilizar la escala de 1 a 9, para simplificar, se utilizó la escala de 1 a 5 como lo muestra Giraldo y Uribe (2012).

Evaluaciones con ultrasonido

A partir de los 12 meses de edad, se realizaron ultrasonidos trans-rectales para asignar una clasificación del desarrollo del tracto reproductivo de las hembras, por sus siglas en inglés (RTS) (Cuadro 1), además de evaluar el momento en que las novillas llegaron a pubertad (presencia del primer cuerpo lúteo (CL)). Al final, los resultados se presentaron como evaluaciones acumuladas previas al servicio.

Los folículos se midieron con la escala del equipo ultrasonográfico en una sola dimensión y los cuerpos lúteos se evaluaron en dos dimensiones. Estas mediciones se utilizaron para obtener el diámetro promedio del cuerpo lúteo, en caso de presentar cavidad, esta se midió y se restó del diámetro total.

Cuadro 1. Clasificación del grado de desarrollo reproductivo de las hembras (RTS) utilizadas en el experimento.

Categoría	Cuernos uterinos	Ovarios			
		Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Estructuras ováricas
1	Inmaduro < 20 mm de diámetro, sin tono	15	10	8	Estructuras no palpables
2	20 - 25 mm de diámetro, sin tono	18	12	10	Folículos de 8 mm
3	25 - 30 mm de diámetro, ligero tono	22	15	10	Folículos 8 - 10 mm
4	30 mm de diámetro, buen tono	30	16	12	Folículos > 10 mm, posible CL
5	> 30 mm de diámetro, buen tono y firme	>32	20	15	Folículos > 10 mm, con CL presente

Fuente: Adaptado de Holm et al., (2009); Atkins et al., (2013); Kasimanickam et al., (2016).

Durante los días de trabajo del protocolo de sincronización y al séptimo día post-inseminación, se realizó ultrasonografía en una submuestra de 24 animales (12 brahman y 12 simbrah, con 6 animales de cada grupo en cada uno de los protocolos), seleccionados según su ciclicidad, RTS, peso y condición corporal (CC), para evaluar la dinámica ovárica como respuesta a los tratamientos utilizados.

El diagnóstico de preñez se realizó mediante ultrasonido transrectal a los 35 días post-inseminación, en todas las novillas sometidas a los protocolos. Las novillas vacías a primer servicio fueron resincronizadas, utilizando el mismo tratamiento aplicado inicialmente a cada animal. A partir de estos resultados, se calculó la preñez acumulada, que incluyó las concepciones obtenidas en ambos servicios.

Evaluación de concentraciones séricas de progesterona

Se tomaron muestras de sangre en tres momentos: el día de aplicación de prostaglandina, el día de inseminación y 7 días después de la inseminación, con el fin de evaluar las concentraciones de P4 como indicador de la respuesta a los tratamientos. Para esto, se usaron 12 muestras en cada tratamiento, es decir, en cada día de muestreo, se sangraron 12 novillas de cada protocolo. La sangre se obtuvo mediante venopunción de los vasos coccígeos, utilizando una funda, una aguja calibre 20 de 1 ½ pulgadas y un tubo de 7,5 mL con tapa roja (siliconizado con activador de coágulo).

Las muestras se dejaron reposar durante 10-15 minutos, luego se centrifugaron durante 15 minutos a 3000 rpm en una centrifugadora modelo DSC-200T. El suero fue separado y almacenado a -20 °C para su posterior envío al Laboratorio de Fisiología de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional para su análisis. En dicho laboratorio, las muestras se procesaron según el procedimiento descrito por Herra-Vargas et al. (2018).

Protocolos para IATF

Cuando el 67% de los animales estuvo ciclando, teniendo un mínimo de 70% del peso vivo adulto y con una edad de 19 meses, se asignaron a uno de los dos protocolos (Figura 1). Por tanto, la distribución de las novillas en dichos protocolos tomó en cuenta: ciclicidad, grado de desarrollo reproductivo (RTS) y peso para distribuir los animales entre protocolos.

Los animales que no se preñaron en el primer servicio recibieron un segundo tratamiento 45 días después, utilizando los mismos protocolos. No obstante, para este segundo servicio, salvo por el diagnóstico de preñez, no se realizaron más evaluaciones.

Para la inseminación de todas las novillas se utilizó semen comercial de un mismo toro simmental, proveniente del Centro de Inseminación de la Dirección de Salud Reproductiva del SENASA, Costa Rica, y este fue evaluado satisfactoriamente. El semen se mantuvo en un tanque criogénico con un nivel de nitrógeno líquido no inferior a 20 cm, desde la salida del Centro de Inseminación hasta su uso.

-Protocolo 1 (GnRH-PG): El día 0 se colocó un dispositivo intravaginal para bovinos (monouso) con 0,6 g de P4, seguido de una dosis de 2 ml (0,1 mg) de acetato de gonadorelina (GnRH). Al día 7, se retiró el dispositivo y se administró 2 ml (0,15 mg) de cloprostenol dextrógiro (PGF2 α). El día 9, se aplicó 2 ml (0,1 mg) de acetato de gonadorelina y se procedió a la inseminación entre las 51-53 horas posteriores a la retirada del dispositivo (BRTF, 2013).

-Protocolo 2 (P4E2): El día 0 se colocó un dispositivo intravaginal para bovinos (monouso) con 0,6 g de P4 y 2 ml (2 mg) de benzoato de estradiol (EB). Al día 7, se retiró el dispositivo, se inyectaron 2 ml (0,15 mg) de cloprostenol dextrógiro (PGF2 α) y 1 ml (0,5 mg) de cipionato de estradiol (ECP). La inseminación se realizó entre las 51-53 horas posteriores a la retirada del dispositivo (Uslenghi et al., 2010).

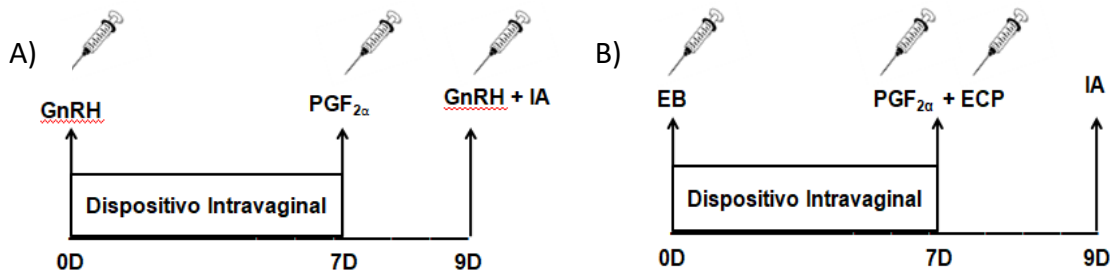


Figura 1. Protocolos para sincronización de la ovulación e inseminación artificial utilizados. A) Protocolo 1 (GnRH-PG). B) Protocolo 2 (P4E2) (BRTF, 2013; Uslenghi et al., 2010).

Respuesta ovárica respecto a los protocolos de sincronización para inseminación artificial

La evaluación de la respuesta ovárica ante los protocolos se basó en la evaluación de los niveles séricos de P_4 durante los días de aplicación de $PGF_{2\alpha}$ (día 7), día de inseminación (día 9) y 7 días post inseminación. Además, en este mismo periodo, por medio de ultrasonografía, se evaluó el total de folículos clase 1 (TF1), total de folículos clase 2 (TF2), total de folículos clase 3 (TF3), tamaño del folículo mayor (TFPO), diámetro del cuerpo lúteo total (DCLT), diámetro del cuerpo lúteo neto (DCLN) y ciclicidad.

Por otro lado, como complemento al estudio, se llevó a cabo un ensayo de campo con procedimientos más sencillos, realizado en el cantón de Upala, Alajuela, durante los meses de mayo a junio de 2018. En este ensayo, se utilizaron 65 novillas mantenidas en pastoreo, con componentes raciales variados, incluidos cruces de brahman con charolais, brahman con simmental, red polled y otros animales principalmente de encaste cebuino. Antes de la sincronización, utilizando los mismos protocolos del experimento, se evaluó la actividad ovárica de las novillas para dividir las de manera balanceada en cada protocolo según ciclicidad (presencia de cuerpo lúteo) y grupo racial. Se utilizó semen de diferentes toros de carne, igualmente balanceados entre los protocolos. De igual forma, la preñez fue evaluada a los 35 días mediante ultrasonografía.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis gráfico de residuos para determinar que las funciones enlace y las distribuciones eran las adecuadas.

La respuesta ovárica al protocolo se analizó mediante un modelo mixto de Poisson, considerando el protocolo y el grupo racial como efectos fijos. Este análisis se aplicó a las variables de TF1 (≥ 10 mm), TF2 (6 – 9 mm) y TF3 (≤ 5 mm). Además, se utilizó un modelo mixto de distribución normal para analizar el DCLT, DCLN, P4 y el TFPO. También se empleó un modelo mixto binario para las variables de diagnóstico de preñez a primer servicio (DP1), diagnóstico de preñez a segundo servicio (DP2) y diagnóstico de preñez acumulada (DPA), considerando el corral como un efecto aleatorio, y el protocolo y el grupo racial como efectos fijos.

Las variables que no siguieron una distribución normal fueron transformadas; el modelo mixto de Poisson utilizó una transformación logarítmica, mientras que la regresión logística empleó una transformación logit. La significancia de los efectos sobre las variables se evaluó utilizando los datos transformados. Sin embargo, para mantener la interpretabilidad de los resultados en los gráficos, se presentaron los datos crudos de aquellas variables que mostraron diferencias estadísticamente significativas. En el caso de los datos no transformados, se presentaron como mínimos cuadrados promedio y como error estándar.

Los datos fueron analizados por medio del software estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2023). La prueba de *post-hoc* utilizada fue Tukey-Kramer. Las diferencias significativas se declararon con el valor $P \leq 0.05$ y las tendencias con valor P entre 0.06 y 0.1.

RESULTADOS Y DISCUSION

Posición del tracto reproductivo

El número de animales en cada categoría (Cuadro 2) fue limitado para realizar un análisis estadístico y evaluar su efecto sobre la preñez. No obstante, según Young et al. (2017), los animales con posición SPS1 presentan una mejor tasa de preñez.

Cuadro 2. Posición del tracto reproductivo para los grupos raciales brahman y simbrah F1.

Clasificación	Brahman	Simbrah F1	Total
SPS1	29	22	51
SPS2	1	6	7
SPS3	0	0	0

Estos resultados son esperables en un grupo de novillas, ya que, al no haber parido, su útero no ha experimentado cambios de tamaño para alojar un feto. En la mayoría de los casos, su tracto reproductivo aún se encuentra completamente dentro de la cavidad pélvica (Young et al., 2017).

Clasificación del tracto reproductivo (RTS)

No se observaron animales con clasificación RTS 1 o RTS 2 (Figura 2), asimismo, se evidenció un 26,67% de animales con categoría RTS 3, todos pertenecientes al grupo racial brahman; además, se obtuvo un 10,71% de animales simbrah F1 y 26,67% de brahman en la clasificación RTS 4 y 89,29% de animales simbrah F1 y 46,67% de brahman se categorizaron como RTS 5. De manera global, existió un 13,79% de animales que se clasificaron en categoría RTS 3, 18,97% RTS 4 y 67,24% RTS 5, lo que implicó que 8 animales presentaron folículos menores a 10 mm, 11 animales mostraron folículos mayores a 10 mm, con posible presencia de CL y 39 animales exhibieron folículos mayores a 10 mm con CL presente.

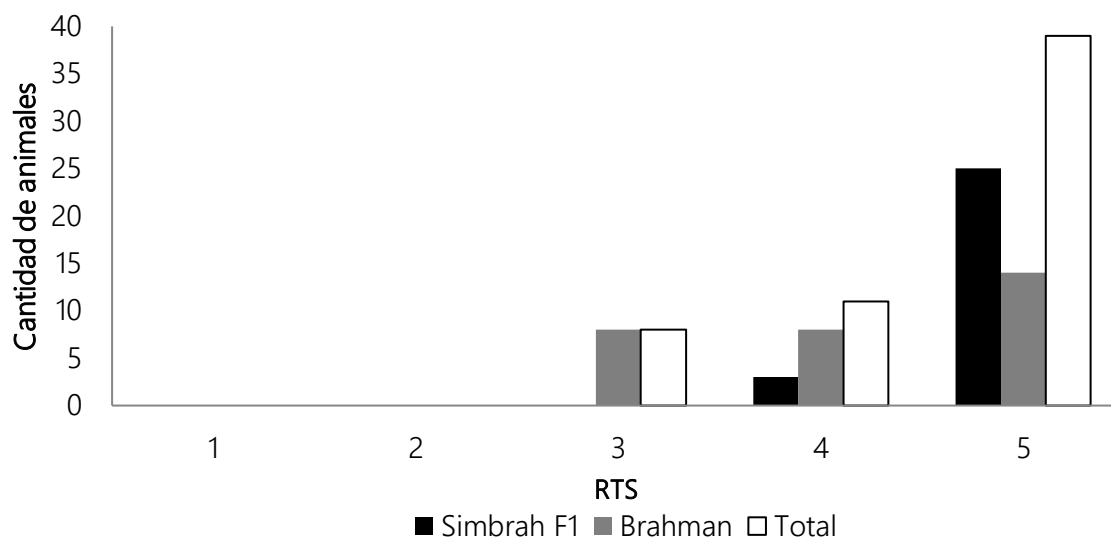


Figura 2. Clasificación del tracto reproductivo de los grupos raciales brahman y simbrah F1 (RTS 1: Estructuras no palpables, RTS 2: Folículos de 8 mm, RTS 3: Folículos 8 - 10 mm, RTS 4: Folículos > 10 mm, posible CL y RTS 5: Folículos > 10 mm, con CL presente).

El RTS se emplea como herramienta para la selección de animales destinados al primer servicio. Los animales clasificados como RTS 1 se consideran no aptos para inseminación debido a la inmadurez de sus órganos reproductivos. Por otro lado, las categorías RTS 2, 3, 4 y 5 son aptas para servicio, aunque los mejores resultados en términos de porcentaje de preñez se obtienen en las categorías 4 y 5 (Quezada et al., 2004). En estudios previos, se ha observado que en estas categorías se presenta una mayor manifestación de estro en respuesta a los protocolos de sincronización para IATF, en comparación con las categorías 3 y 2 (Quezada et al., 2004). Para este experimento, todos los animales fueron enviados a servicio; sin embargo, debido a los bajos índices de preñez obtenidos, no se realizaron análisis por categorías.

El RTS también está relacionado con la nutrición, por lo que puede servir como un indicador para realizar ajustes en la dieta cuando sea necesario (Butler et al., 2015). En este caso, y considerando la edad y componente racial de los animales, la distribución del RTS obtenida no refleja problemas nutricionales (Guillén-Alvarado et al., 2023).

Cantidad y tamaño de folículos ováricos

Según las categorías evaluadas, para TF3, se encontró una diferencia significativa según el protocolo utilizado ($p = 0.0143$). El valor esperado de TF3 fue un 61,6% mayor en los animales tratados con P4E2, lo que indica que este grupo presentó una mayor cantidad de folículos clase 3 (< 5 mm) en comparación con aquellos tratados con GnRH-PG. Como respuesta al uso de GnRH o EB, se propicia la ovulación de los folículos existentes con capacidad ovulatoria y la P₄ proveniente del dispositivo intravaginal provoca la atresia de los folículos en crecimiento, por lo tanto, se da el inicio de una nueva onda folicular, lo que aumenta la cantidad de TF3. Sin embargo, no debería existir una diferencia *per se* por el uso del protocolo, ya que ambas hormonas tienen una retroalimentación positiva sobre las gonadotropinas, las cuales estimulan el crecimiento folicular, por lo que esta diferencia se puede deber a factores externos como si el animal estaba en anestro o ciclando al inicio del protocolo, la duración de la fase luteal de cada animal, la cantidad de folículos existentes en los animales según su grupo racial, además del estrés generado por el gran número de encierres (por manejo animal), entre otros (Bó et al., 2008; Stevenson et al., 2006; Sartori et al., 2010; Uslenghi et al., 2010; Sartori y Barros, 2011; Bó y Cutaia, 2014).

Con respecto al grupo racial, el nivel de P4 y el día de muestreo no mostraron efectos significativos sobre la cantidad de folículos ($p = 0.6296$, 0.2119 y 0.5538 , respectivamente).

Para TF2, no se encontraron diferencias significativas en relación con el protocolo, grupo racial, nivel de P4 ni día de evaluación ($p = 0.6492$, 0.1799 , 0.3541 y 0.1124 , respectivamente), lo que indica que los folículos de tamaño intermedio (6 - 9 mm) mostraron un comportamiento similar en todas las condiciones analizadas.

En el caso de TF1, sí se observaron diferencias según el protocolo utilizado ($p = 0.0295$). Este presentó un valor 38,4% menor en los animales tratados con P4E2 en comparación con GnRH-PG. Además, el nivel de P4 también tuvo un efecto significativo sobre TF1 ($p = 0.0307$), donde un aumento de una unidad en P4 se asoció con una reducción del 14,7% en la cantidad de folículos de clase 1, lo que indica que, a mayores niveles de P4, se presentan menos folículos de este tipo. Por otro lado, ni el grupo racial ($p = 0.7965$) ni el día de muestreo ($p = 0.6333$) influyeron en la cantidad de folículos de esta categoría. La función del cuerpo lúteo es secretar progesterona para posteriormente mantener una preñez, por lo tanto, dicha hormona suprime la expresión de estrógeno e impide las ovulaciones por medio de la inhibición de la producción de LH en el eje hipotalámico hipofisiario, lo que reduce la cantidad de TF1 (Valencia et al., 2017).

Tamaño del folículo mayor

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.1$) al analizar si la concentración de P4 al día de la inseminación, el protocolo utilizado y el grupo racial influyeron en el tamaño del TFPO, lo que indica una respuesta similar independientemente del protocolo o grupo racial.

Asimismo, al evaluar la relación entre TFPO y los resultados de preñez (DP1, DP2, DPA), no se hallaron diferencias significativas en ninguno de los diagnósticos ($p = 0.2618$, $p = 0.2996$ y $p = 0.9789$, respectivamente). Del mismo modo, la ciclicidad ($p = 0.5265$), TFPO ($p = 0.7989$), grupo racial ($p = 0.9237$) y protocolo ($p = 0.9702$) no mostraron influencia sobre los niveles de P4, lo que confirma que ambos protocolos tuvieron un comportamiento similar.

En un estudio previo, Colazo et al. (2007) observaron que novillas sin actividad cíclica al inicio del protocolo presentaron un menor porcentaje de preñez en comparación con aquellas en actividad reproductiva (49% vs. 56%). Además, el mayor porcentaje de preñez se registró en novillas en diestro (58%), independientemente del protocolo aplicado. Sin embargo, en el presente estudio no se detectó una diferencia significativa en la tasa de preñez entre novillas ciclando y no ciclando al inicio del tratamiento ($p = 0.8252$).

Concentración de progesterona sérica al día 7 post inseminación

Al día 7 post inseminación, no se encontró influencia significativa del protocolo ($p = 0.3483$) ni del grupo racial ($p = 0.7834$) sobre los niveles de P4. Sin embargo, tanto el DCLT (16,08 mm; $p = 0.0028$) como el DCLN (14,65 mm; $p = 0.0113$) presentaron diferencias significativas. Se observó que, por cada incremento de 1 mm en el DCLT, los niveles de P4 aumentaron en 0,25 ng/ml, mientras que, por cada aumento de 1 mm en el DCLN, la P4 se incrementó en 0,23 ng/ml.

Estos resultados sugieren que el DCLT tiene una mayor influencia sobre los niveles de P4 que el DCLN, posiblemente debido a la cavidad presente en algunos cuerpos lúteos. Dichas cavidades están llenas de líquido, lo que reduce la cantidad de tejido luteal funcional y, por ende, la producción de P4 (De Armas et al., 2018). La progesterona cumple un papel clave en la regulación del ciclo estral al generar una retroalimentación negativa sobre el eje hipotálamo-hipófisis, inhibiendo la síntesis de GnRH y suprimiendo la producción de las gonadotropinas FSH y LH, lo que afecta el desarrollo folicular y la ovulación (Aréchiga-Flores et al., 2019).

La relación entre la producción de P4 y el tamaño del CL puede entenderse a partir de la composición celular de este último. Según Wiltbank (1994) y Díaz et al. (2002), el CL está compuesto por diferentes tipos de células esteroideogénicas. Las células pequeñas, derivadas de la teca interna, aumentan en número, pero no en tamaño, representando el 20% del volumen total del CL. Por otro lado, las células grandes, originadas en la granulosa, sufren

hipertrofia sin multiplicarse y ocupan el 40% del volumen. Estas últimas son las principales responsables de la producción de P4, representando el 80% de su síntesis (Niswender et al., 1985).

Este mecanismo de compensación también ha sido observado en estudios con otras especies. Tolentino-Castro et al. (2015) encontraron que, en ovejas, la concentración de P4 no varió significativamente entre cuerpos lúteos compactos y cavitarios, ya que, a pesar de su menor masa, los CL cavitarios presentaron adaptaciones celulares que favorecieron una mayor eficiencia en la síntesis de P4 (Uribe-Velásquez et al., 2011). Esto respalda la idea de que la funcionalidad del CL no depende exclusivamente de su tamaño, sino de la cantidad y actividad de las células luteales, lo que explicaría las diferencias encontradas en este estudio.

Relación de concentraciones de progesterona con la preñez

No se encontraron diferencias significativas a los días 7 y 9 post-IA en ninguno de los diagnósticos realizados (DP1, DP2 y DPA) ($p = 0.2345$, $p = 0.238$, $p = 0.1009$, respectivamente). Asimismo, el protocolo utilizado no mostró un efecto sobre la tasa de preñez ($p = 0.7058$, $p = 0.8735$, $p = 0.9337$), ni tampoco el grupo racial ($p = 0.6577$, $p = 0.5086$, $p = 0.4462$). En este análisis se trabajó con una muestra limitada de la población, lo que reduce el poder estadístico para detectar diferencias significativas. Se utilizaron únicamente los datos de 12 novillas por tratamiento, por lo que los resultados deben interpretarse con cautela, considerando tanto el tamaño muestral reducido como la distribución de preñez entre los tratamientos.

Diagnóstico de preñez

El diagnóstico de preñez al primer servicio (DP1) presentó un bajo número de animales preñados (7 de 58), todos pertenecientes al grupo racial simbrah F1, lo que impidió la realización del análisis estadístico debido a la falta de convergencia del modelo.

En el caso del diagnóstico de preñez al segundo servicio (DP2), no se encontraron diferencias significativas asociadas al grupo racial ($p = 0.1697$) ni al protocolo ($p = 0.2983$), lo que indica que la tasa de concepción fue similar entre ambos factores.

Por otro lado, la preñez acumulada (DPA) sí se vio influenciada por el grupo racial ($p = 0.0169$), mientras que el protocolo no tuvo un efecto significativo ($p = 0.3965$), lo que sugiere que ambos fueron igualmente efectivos en la sincronización de la ovulación e IATF. Según los resultados, la probabilidad de preñez en las novillas brahman fue 86,46% menor en comparación con las simbrah F1, lo que significa que estas últimas tenían 6,39 veces más probabilidades de quedar preñadas.

En términos absolutos, el DP1 se registró en 7 de 58 casos (todas en simbrah F1), el DP2 en 14 de 51 y la DPA en 21 de 58. La Figura 3 muestra los porcentajes de preñez en cada diagnóstico.

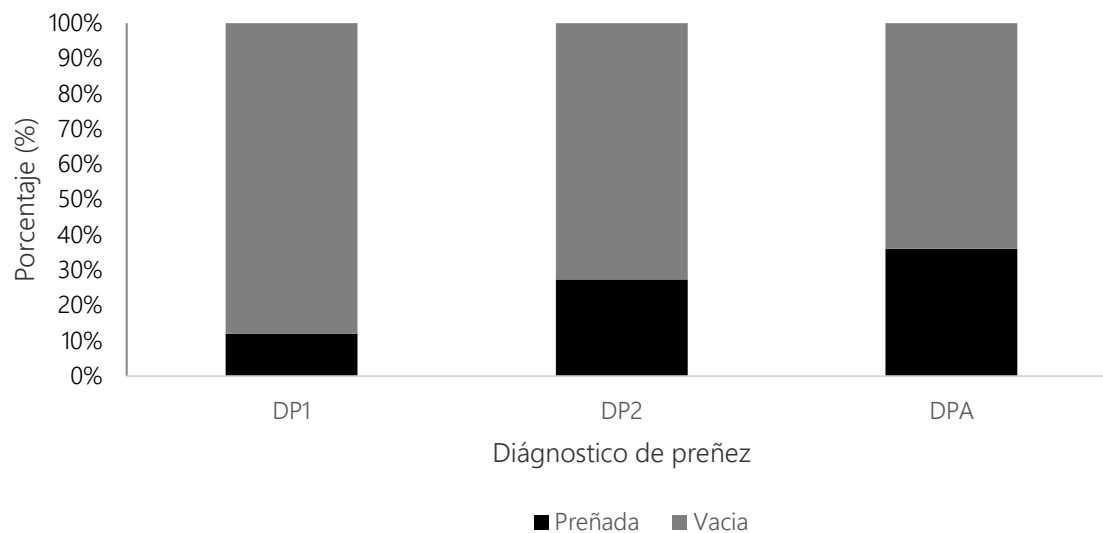


Figura 3. Resultado global del porcentaje de preñez para los distintos diagnósticos de gestación (DP1: diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: diagnóstico de preñez acumulada).

Además, en la Figura 4, se aprecia la cantidad de novillas preñadas y vacías por grupo racial, para cada diagnóstico de preñez.

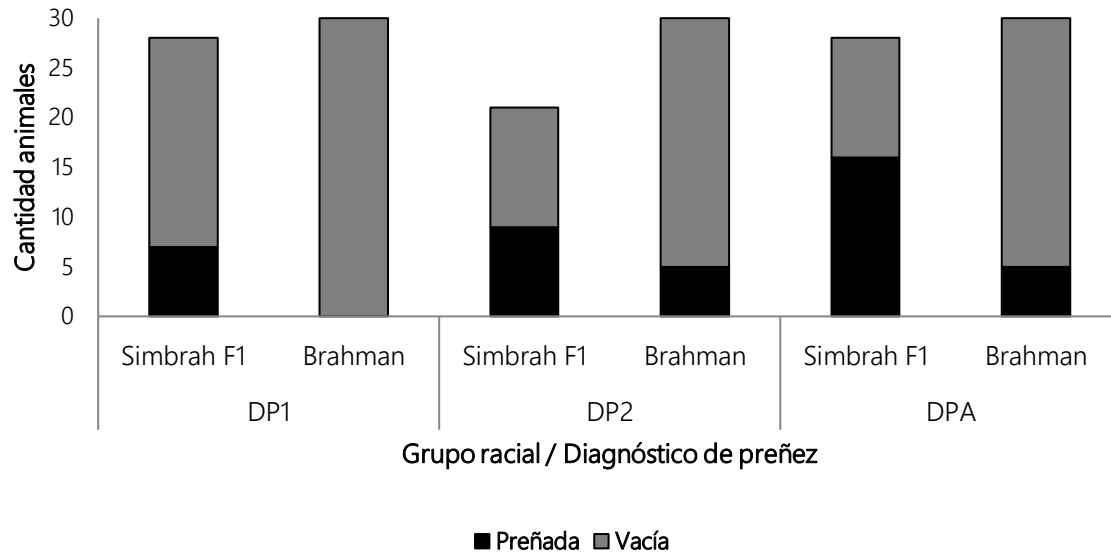


Figura 4. Novillas preñadas y vacías de los grupos raciales brahman y simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez (DP1: Diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: Diagnóstico de preñez al segundo servicio y DPA: Diagnóstico de preñez acumulada con valores p para el efecto racial de 0,1687 para DP2 y de 0,0169 para DPA).

En la Figura 5, se observa la cantidad de novillas preñadas por grupo racial en cada protocolo (P1: GnRH-PG, P2: P4E2) para cada diagnóstico de preñez. En el DP1 se preñaron siete novillas en total, todas pertenecientes al grupo racial simbrah F1, para el DP2 se preñaron 14 novillas en total de ambos grupos raciales y protocolos, lo que respalda el hecho de que no existiera diferencia significativa en cuanto a grupo racial ($p = 0.1697$) ni al protocolo ($p = 0.2983$) y para el DPA se preñaron 16 novillas simbrah F1 y 5 brahman lo que demuestra el efecto del grupo racial ($p = 0.0169$) sobre el diagnóstico de preñez acumulada, debido a que en el primer servicio solo se preñaron animales simbrah F1 y no hay efecto del protocolo ($p = 0.3965$) sobre el DPA, ya que las novillas se preñaron por igual con cualquiera de los dos protocolos.

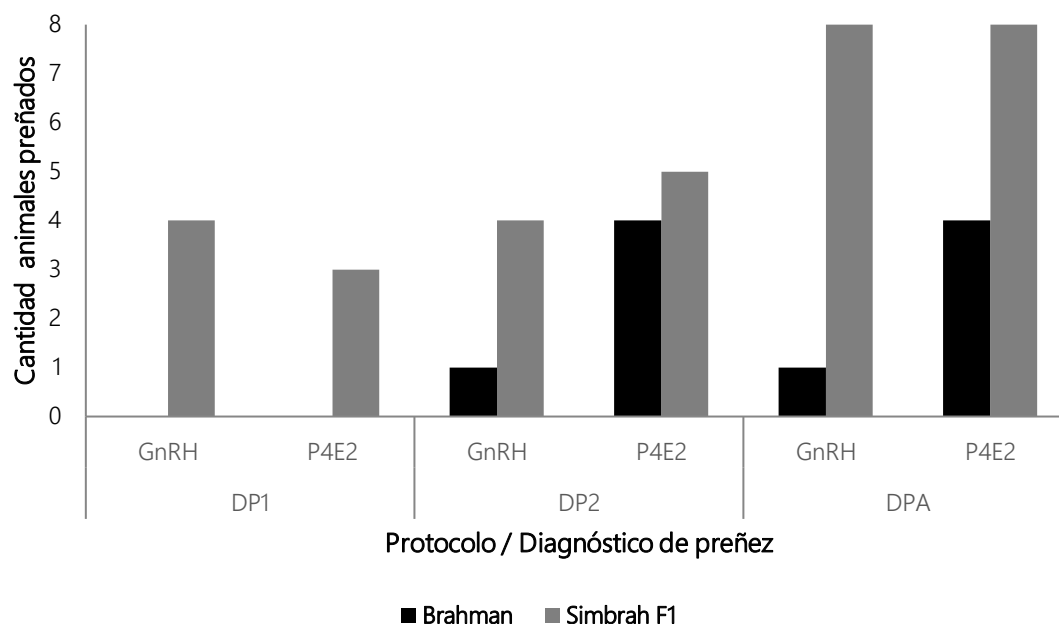


Figura 5. Novillas preñadas para los grupos raciales brahman y simbrah F1 en cada diagnóstico de preñez (P1: GnRH-PG, P2: P4E2, DP1: Diagnóstico de preñez a primer servicio, DP2: Diagnóstico de preñez al segundo servicio, DPA: Diagnóstico de preñez acumulada, con valores p para cada protocolo de 0,2983 para DP2 y de 0,3965 para DPA).

En el caso de los resultados del ensayo de campo, se obtuvo un porcentaje de preñez acumulada mediante IATF de 47,8% (51% con GnRH y 44,7% con P4E2 ($P > 0.1$)). Dichos resultados, además de que se acercan a los esperados mediante IATF (Carballo-Guerrero et al. 2023), confirman que ambos protocolos tienen un desempeño similar a pesar de diferir en los porcentajes de preñez obtenidos entre el experimento y el ensayo de campo.

De igual forma, en un estudio realizado por Flores-Mariñelarena et al. (2013), el uso de EB versus GnRH no presentó diferencias significativas en cuanto al porcentaje de preñez (56,5% vs 47,8%), lo que concuerda con lo obtenido en este estudio. Asimismo, De la Vega et al., (2014), compararon los mismos protocolos a pesar de haber encontrado una diferencia

numérica considerable a favor del protocolo con EB (41% vs 23%), dichos valores no representaron diferencias significativas, esto indica que los protocolos no tuvieron efecto sobre la preñez, sino que otros factores fueron los que intervinieron en dichos resultados.

Diversos compuestos de estradiol han sido utilizados para la sincronización de la inseminación artificial a tiempo fijo. Por ejemplo, en protocolos con benzoato de estradiol, la tasa de preñez varió entre 45,0% y 47,5% (Ross et al., 2004), mientras que en aquellos con cipionato de estradiol se reportaron valores cercanos al 56,0% (Colazo et al., 2004). De manera similar, Peralta-Torres et al. (2010) informaron tasas de 51,0% con ECP y 30,0% con EB, aunque otros factores, como la época del año, también influyen en los resultados.

Torquati et al. (2011) obtuvieron mejores tasas de preñez con ECP (53,0%) que con EB (48,2%), sin embargo, en ese mismo estudio, el EB fue aplicado al momento del retiro del dispositivo, al igual que el ECP. Actualmente, se sabe que el EB debe administrarse 24 horas después del retiro, lo que permite obtener tasas de preñez comparables a las del ECP aplicado al momento del retiro Torquati et al. (2011).

No obstante, algunos estudios no han encontrado diferencias significativas entre ambos compuestos. Meneghetti et al. (2009) reportaron tasas de preñez del 50,8% con ECP y 51,9% con EB, mientras que Veiga et al. (2012) obtuvieron 55,17% y 58,59%, respectivamente. En ambos casos, el EB se aplicó 24 horas después del retiro del dispositivo y el ECP en el momento del retiro.

Un factor clave en el proceso reproductivo es la CC, ya que valores extremos afectan la producción hormonal que regula el ciclo estral (López, 2006). Animales con una CC superior a 4 o inferior a 2, presentan menores tasas de preñez debido al bloqueo de la actividad ovárica y el prolongado anestro posparto en vacas con cría (Hidalgo et al., 2011; Cuevas, 2015). Cutaia et al. (2003) reportaron mayores porcentajes de preñez en animales con condición corporal (CC) entre 2,5 y 3,0. De manera similar, García (2015) observó tasas de preñez del 42% en animales con CC inferior a 2,75, del 57% entre 2,75 y 3,00, y del 62% en aquellos con valores

superiores a 3,00. Estos hallazgos sugieren que la CC superior a 3,75 registrada en el presente estudio podría haber contribuido a los bajos índices de preñez observados.

Además, un crecimiento acelerado en animales destinados a la reproducción puede generar acumulación excesiva de grasa, lo que afecta la función reproductiva, reduciendo la intensidad del celo y la tasa de concepción al primer servicio, e incluso provocando celos silenciosos (McDonald, 1999; Jiménez y Torres, 2006).

Si bien el desempeño reproductivo depende de múltiples factores, en este experimento se observó una tendencia clara en la influencia del grupo racial. Diversos estudios han reportado mejoras en la eficiencia reproductiva con la introducción de genes de *Bos taurus*, resaltando los beneficios de la heterosis (Negussie et al., 1999; Nogueira, 2004; Grajales et al., 2006).

Otro factor que pudo haber afectado los índices de preñez fue el estrés (Cutaia, 2005), ya que durante la aplicación del protocolo y la inseminación se realizaron trabajos de construcción en la finca, sumado al muestreo intensivo. También, la presencia de animales con CC superior a 4 (López, 2006) pudo haber alterado el control hormonal del ciclo. Además, es posible que variaciones en las condiciones de manejo y el ambiente hayan influido en los resultados. No obstante, el desempeño de ambos protocolos fue similar y consistente con la prueba de campo realizada.

CONSIDERACIONES FINALES

Las novillas del grupo racial simbrah F1 tuvieron 6,39 veces más probabilidades de preñez que las brahman, lo que resalta la importancia de los cruzamientos entre ganado cebú y taurino para aprovechar sus respectivas ventajas.

A pesar de la baja tasa de preñez en el experimento, ambos protocolos mostraron un desempeño similar, tanto en el experimento como en el ensayo de campo. Esto indica que los protocolos con y sin estrógenos son viables para la sincronización en inseminación artificial a tiempo fijo.

El protocolo P4E2 favoreció un mayor número de folículos < 5 mm (TF3), mientras que la cantidad de folículos de 6-9 mm (TF2) fue similar en ambos tratamientos. En cuanto a los folículos ≥ 10 mm (TF1), el protocolo P4E2 resultó en una menor cantidad, lo que sugiere que influye más en el reclutamiento folicular, mientras que el protocolo GnRH-PG parece favorecer el desarrollo del folículo dominante.

El aumento de los niveles de P4 redujo la cantidad de folículos ≥ 10 mm, un efecto esperado debido a la retroalimentación negativa de la P4 sobre el hipotálamo durante el ciclo estral. Asimismo, a mayor DCLT y DCLN, los niveles de P4 también aumentaron, lo que se relaciona con la distribución de las células esteroideogénicas del cuerpo lúteo y la cantidad de tejido luteal presente.

Estos hallazgos refuerzan la importancia del grupo racial en la eficiencia reproductiva y destacan la viabilidad de ambos protocolos para la sincronización en inseminación artificial a tiempo fijo, brindando información valiosa para optimizar estrategias de reproducción en bovinos.

LITERATURA CITADA

- Aréchiga-Flores, C., Cortés-Vidauri, Z., Hernández-Briano, P., Flores-Flores, G., Rochín-Berumen, F. y Ruiz-Fernández, E. (2019). Revisión: Función y regresión del cuerpo lúteo durante el ciclo estral de la vaca. *Abanico Veterinario*, 9, 1-21.
- Atkins, J.A., Pohler, K.G. y Smith, M.F. (2013). Physiology and Endocrinology of Puberty in Heifers. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 29, 479-492.
- Bertín, S.I. (2008). Resistencia eléctrica en mucus vaginal durante el ciclo estral en vacas. Tesis Lic, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Bó, G.A., Cutaia, L.E., Souza, A.H. y Baruselli, P.S. (2008). Actualización sobre protocolos de IATF en bovinos de leche. III Simposio Internacional en Reproducción Animal. Londrina, Brazil. 95-110.
- Bó, G.A., y Cutaia, L.E. (2014). Estado del arte en IATF: Factores que afectan sus resultados. https://www.abspecplan.com.br/upload/library/Estado_del_arte_IATF.pdf (Consultado 18 mayo 2017)
- Bó, G.A. y Menchaca, A. (2023). Prohibition of hormones in animal reproduction: What to expect and what to do?. *Animal Reproduction*, 20 (2), 1-14.
- BRTF (Beef Reproduction Task Force). (2013). Protocols for synchronization of estrus and ovulation. <https://www.bovine-elite.com/wp-content/uploads/2017/08/protocolsForSync.pdf> (Consultado 08 feb. 2024).
- BRTF (Beef Reproduction Task Force). (2024). Protocols. <https://beefrepro.org/protocols/> (Consultado 01 nov. 2024).

- Butler, H.M., Butler, A., Etcheverry, E., Cesaroni, G., Cutaia, L., y Alberio, R.H. (2015). El GDR y la adición de eCG después de un tratamiento de inducción de celo, ¿afectan la tasa de preñez de vaquillonas Angus de 12-15 meses en buen estado corporal? *Revista Taurus*, 17 (66), 18-24.
- Carballo-Guerrero, D.M. (2012). Superovulación en la primera onda folicular. Tesis Msc., Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Carballo-Guerrero, D.M., Carballo-Cruz, G. y Bó, G.A. (2023). Efecto de los días post parto sobre la tasa de preñez en vacas de cría de carne con ternero al pie tratadas para IATF. *Nutrición Animal Tropical*, 17 (2), 1-23.
- Catalano, R., y Callejas, S. (2001). Detección de celo en bovinos. Factores que la afectan y métodos de ayuda. *Revista de Medicina Veterinaria*, 81, 17-22.
- Colazo, M.G., Kastelic, J.P., Martinez, M.F., Whittaker, P.R., Wilde, R., Ambrose, J.D., Corbett, R., y Mapletoft, R.J. (2004). Fertility following fixed-time AI in CIDR-treated beef heifers given GnRH or estradiol cypionate and fed diets supplemented with flax seed or sunflower seed. *Theriogenology*, 61, 1115-1124.
- Colazo, M.G., Mapletoft, R.J., Martinez, M.F., y Kastelic, J.P. (2007). El uso de tratamientos hormonales para sincronizar el celo y la ovulación en vaquillonas. *Ciencia veterinaria*, 9 (1), 4-19.
- Cooke, R.F., Cardoso, R.C., Cerri, R.L.A., Lamb, G.C., Pohler, K.G., Riley, D.G. y Vasconcelos, J.L.M. (2020). Cattle adapted to tropical and subtropical environments: genetic and reproductive considerations. *Journal of Animal Science*, 98 (2), 1-14.
- Cuadrado, F., García-Pintos, C., Nuñez-Olivera, R., Brochado, C., Fabini, F., Pais, V., y Menchaca, A. (2021). Algunos avances en protocolos sin estradiol. Memorias de las 10^{as} Jornadas Taurus de Reproducción Bovina, TAURUS, 2023.

- Cuevas, N. (2015). Preñez en vacas con cría con servicio artificial y/o natural. Tesis Lic., Universidad Nacional del centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Cutaia, L.E. (2005). Programas de inseminación artificial a tiempo fijo: Análisis de costos e implementación. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/38-costos_tiempo_fijo.pdf (Consultado 18 May. 2017).
- Cutaia, L.E. (2006). Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF): una herramienta para el mejoramiento genético. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/60-ia_a_tiempo_fijo.pdf (Consultado 18 May. 2017).
- Cutaia, L.E., y Bo, G.A. (2002). Uso de la tecnología de IATF en rodeos lecheros. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Córdoba, Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/101-iatf_en_rodeos_lecheros.pdf (Consultado 8 May. 2017).
- Cutaia, L.E., Veneranda, G., Tribulo, R., Baruselli, P.S., y Bo, G.A. (2003). Programas de inseminación artificial a tiempo fijo en rodeos de cría: Factores que lo afectan y resultados productivos. V Simposio Internacional de Reproducción Animal. Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC). 119-132p.
- DCRC (Dairy Cattle Reproduction Council). (2024). Dairy Reproduction Protocols. <https://www.dcrcouncil.org/protocols/> (Consultado 1 nov. 2024).
- De Armas, R., De García, J.M, y Solís, A. (2018). Características del cuerpo lúteo con hembras bovinas sacrificadas y su relación con la categoría y longevidad reproductiva. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 1 (1), 1-12.

- De La Vega, A.C., Jorrat, J.J., Ghiggia, L.R., Gonzales Del Pino, F., Araoz, J., y Cruz, M.L. (2014). Uso comparativo de GnRH o Benzoato de Estradiol en protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 34 (2), 104-106.
- Díaz, F.J., Anderson, L.E., Wu, Y.L., Rabot, A., Tsai, S.J., y Wiltbank, M.C. (2002). Regulation of progesterone and prostaglandin F2 α production in the CL. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 191 (1), 65-80. doi: 10.1016/s0303-7207(02)00056-4
- Flores-Mariñelarena, A.F., Enríquez-Bueno, E., Anchondo-Garay, A., Grado-Ahuir, J.A., Rodríguez-Muela, C., y Ramírez-Godínez, J.A. (2013). Uso de benzoato de estradiol o GnRH en vaquillas sincronizadas con progesterona y PGF2 α . *Tecno ciencia*, 7 (1), 17-24.
- García, A.T. (2015). Evaluación de la eficiencia de un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo aplicado al ganado bovino de carne perteneciente a la agricultura familiar campesina de la provincia de Melipilla. Tesis Lic., Universidad de Chile, Chile.
- Giraldo, A.D. y Uribe, L.F. (2012). Estrategias para mejorar la condición corporal postparto en vacas de carne. *Biosalud*, 11 (1), 71-89.
- Giraldo, J.J. (2007). Una mirada al uso de la inseminación artificial en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación*, 4 (1), 51-57.
- Grajales, H., Hernández, A., y Prieto, E. (2006). Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 18 (10).
- Guillén-Alvarado, C., Herrera-Muñoz, J.I., Arroyo-Oquendo, C., Rojas-Salazar, S. y Molina-Coto, R. (2023). Evaluación del crecimiento corporal y desarrollo reproductivo en novillas brahmán y simbrah F1 estabuladas. *Nutrición Animal Tropical*, 17 (2), 63-88.
- Herra-Vargas, S., Brenes-Mora, E., Baldi, M., Bouza-Mora, L., Huertas-Segura, R.M., Castro-Ramírez, L., y Suarez-Esquivel, M. (2018). Parámetros sanguíneos y perfil de hormonas reproductivas de hembras de *Choloepus hoffmanni* en cautiverio. *Revista Biología tropical*, 66 (1), 280-292.

- Hidalgo, L.G., Catena, M., Petreigne, E.H., y Segui, R. (2011). Principales variables que afectan la preñez en rodeos de cría de la Cuenca del Salado. *Investigación Veterinaria*, 13 (1), 79-85.
- Holm, D.E., Thompson, P.N., y Irons, P.C. (2009). The value of reproductive tract scoring as a predictor of fertility and production outcomes in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 87 (6), 1934-1940.
- Huanca, W. (2001). Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 12 (2), 161-163.
- Jiménez, B. E.J., y Torres, V.M.P. (2006). Correlaciones entre espesor de la grasa dorsal, grasa en la décimo segunda costilla y área de lomo como parámetros reproductivos en ganado Brahman comercial. Tesis Lic., Universidad de la Salle, Bogotá.
- Kasimanickam, R.K., Whittier, W.D., Hall, J.B., y Kastelic, J.P. (2016). Estrous synchronization strategies to optimize beef heifer reproductive performance after reproductive tract scoring. *Theriogenology*, 86, 831-838.
- Lane, E., Austin, E., y Crowe, M. (2008). Oestrous synchronization in cattle-Current options following the EU regulations restricting use of oestrogenic compounds in food-producing animals: A review. *Animal Reproduction Science*, 109, 1-16.
- López, F.J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. Facultad de Ciencias Agropecuarias. *Universidad del Cauca*, 4 (1), 76-86.
- McDonald, P. (1999). Nutrición Animal. Quinta Edición. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España.
- Mejía, C.A., Henao, G., Botero, J., Acevedo, L.I., Giraldo, A.M. y Trujillo, L.E. (2004). Variaciones en el peso y la condición corporal postparto y su relación con algunos parámetros de eficiencia reproductiva en vacas Cebú. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57 (2), 2435-2451.

- Meneghetti, M., Sá Filho, O.G., Peres, R.F.G., Lamb, G.C., y Vasconcelos, J.L.M. (2009). Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows I: Basis for development of protocols. *Theriogenology*, 72 (2), 179-189. doi: 10.1016/j.theriogenology, 2009.02.010
- Molina-Coto, R., Herrera-Muñoz, J. I., Arroyo-Oquendo, C. y Carballo-Guerrero, D. (2020). Experiencias en el uso de la transferencia de embriones para crear un hato Girolando en Pococí, Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 14 (2), 187-208. DOI: 10.15517/nat.v14i2.45077
- Negussie E., Brannang, E., y Rottmann, O.J. (1999). Reproductive performance and herd life of dairy cattle at Asella livestock farm, Arsi, Ethiopia. II: Crossbreds with 50, 75 and 87,5% European inheritance. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 116, 225-234
- Niswender G.D., Schwall, R.H., Fitz, T.A., Farin, C.E., y Sawyer, H.R. (1985). Regulation of luteal function in domestic ruminants: new concepts. *Recent Progress in Hormone Research*, 41, 101-151. doi: 10.1016/b978-0-12-571141-8.50007-x
- Nogueira, G.P. (2004). Puberty in South American *Bos indicus* (Zebu) cattle. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 361-372.
- Peralta-Torres, J.A., Ake-Lopez, J.R., Centurion-Castro, F.G., y Magañamonforte, J.G. (2010). Comparación del cipionato de estradiol vs benzoato de estradiol sobre la respuesta a estro y tasa de gestación en protocolos de sincronización con CIDR en novillas y vacas *Bos indicus*. *Revista Universidad y Ciencia*, 26 (2), 163-169.
- Quezada, A., Ramírez, A., Pérez, F., Avedaño, L., y Hallford, D.M. (2004). Comparación de dos protocolos de sincronización del estro en vaquillas de carne con distintas calificaciones de tracto reproductivo. *Interciencia*, 29 (11), 638-642.

- Quijano-Pérez, L. Artunduaga-Romero, J. y López-Rojas, R. (2015). Evaluación de dos protocolos de inseminación artificial a término fijo (IATF) con dos inductores de ovulación (benzoato de estradiol y cipionato de estradiol) en vacas raza criollo caqueteño en el departamento de Caquetá. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16 (9). <https://www.redalyc.org/pdf/636/63641785003.pdf>
- Romero, G.D., y Romero, D.G. (2012). Evaluación de las tasas de preñez en vacas Holstein en lactancia comparando protocolos CIDR-Synch de 5 y 7 días. Tesis Msc., Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Ross, P.J., Aller, J.F., Callejas, S.S., Butler, H., y Alberio, R.H. (2004). Estradiol benzoate given 0 or 24 h after the end of a progestogen treatment in postpartum suckled beef cows. *Theriogenology*, 62, 265-273.
- Sartori, R., Bastos, M.R., Baruselli, P.S., Gimenes, L.U., Ereno, R.L., y Barros, C.M. (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, 357-37
- Sartori, R., y Barros, C.M. (2011). Reproductive cycles in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 124, 244-250
- SAS Institute Inc. (2023). SAS/STAT® 15.3 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Stevenson, J.S., Pursley, J.R., Garverick, H.A., Fricke, P.M., Kesler, D.J., Ottobre, J.S., y Wiltbanks, M.C. (2006). Treatment of cycling and noncycling lactating dairy cows with progesterone during ovsynch. *Journal Dairy Science*, 89, 2567-2578.
- Tolentino-Castro, C., Miranda-Jiménez, L., Quero-Carrillo, A., y Pescador-Salas, N. (2015). Frecuencia, morfología y concentración de progesterona *in vitro* de cuerpos lúteos cavitarios de ovejas. *Agrociencia*, 49 (3), 267-275.

- Torquati S., Cabodevila, J., y Callejas, S. (2011). Efecto de la administración de dos sales de estradiol al retirar un dispositivo intravaginal con progesterona sobre el porcentaje de preñez a la IATF en vacas con cría. *Revista Taurus*, 13 (50), 26-28.
- Uribe-Velásquez, L.F., Osorio, J.H., y Correa-Orozco, A. (2011). El cuerpo lúteo: una visión inmunológica. *Biosalud*, 10 (2), 87-100.
- Uslenghi, G., Chayer, R., y Callejas, S. (2010). Efectividad del cipionato de estradiol inyectado al final de un tratamiento con progesterona sobre la eficiencia reproductiva. *Revista Veterinaria*, 21 (1), 55-58.
- Valencia, H.F., Sanchez, A.D.C., y Baldrich, R.N.E. (2017). Ciclo reproductivo y dinámica folicular en ganado *Bos indicus*. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 9(2), 62-68.
- Veiga, P., Chayer, R., Uslenghi, G., Montiel, J., y Callejas, S. (2012). Efecto de diferentes ésteres de estradiol utilizados para sincronizar la ovulación sobre el porcentaje de preñez a la IATF en vacas angus. *Analecta Veterinaria*, 32 (1), 18-21
- Vishwanath, R. (2003). Artificial insemination: the state of the art. *Theriogenology*, 59, 571-584.
- Wiltbank, M.C. (1994). Cell types and hormonal mechanisms associated with mid cycle corpus luteum function. *Journal of Animal Science*, 72, 1873-1883. doi: 10.2527/1994.7271873x
- Young, C.D., Schrick, F.N., Pohler, K.G., Saxton, F.A., di Croce, F.A., Roper, D.A., Wilkerson, J.B., y Edwards, J.L. (2017). Short communication: A reproductive tract scoring system to manage fertility in lacting dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (7), 5922-5927. doi: 10.3168/jds.2016-12288