

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Fertilidad en vacas Brangus x Brahman tratadas con $PGF_{2\alpha}$ y GnRH

Por:

MARÍA FERNANDA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Fertilidad en vacas Brangus x Brahman tratadas con PGF_{2α} y GnRH

POR:


María Fernanda Martínez Hernández

TESIS


Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

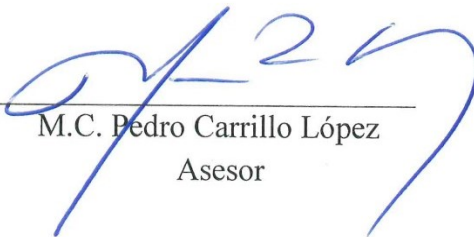
Aprobada por:



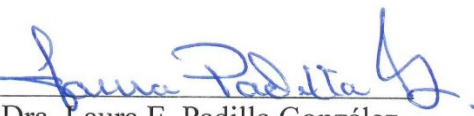
Dr. Joel Ventura Ríos
Director



M.C. Mario A. Santiago Ortega
Asesor



M.C. Pedro Carrillo López
Asesor



Dra. Laura E. Padilla González
Suplente



Dr. José Dueñez Alaniz
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2022.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida, por permitirme culminar mi carrera profesional de la mejor manera posible, por nunca dejarme sola, por siempre cuidarme, por siempre protegerme en esta aventura, por darme esa fuerza y esa valentía que siempre necesite a lo largo de toda esta travesía que hoy culmina.

A mi ALMA TERRA MATER, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. Agradezco infinitamente a todo el personal que en esta casa de estudios labora y que nos permiten alcanzar nuestros sueños.

Al Dr. Joel Ventura Ríos, por haberme dado la oportunidad de realizar un trabajo de investigación y por confiar en mí, por siempre brindarme su apoyo y su tiempo, por sus consejos, por todos sus conocimientos y enseñanzas y por motivarme a publicar parte de los resultados obtenidos en esta investigación y ser ponente en el **Congreso Internacional de Ciencias Agronómicas y Veterinarias – CICAV 2021**, fue una experiencia que no olvidaré.

Al M.C. Mario Alberto Santiago Ortega, por abrirme las puertas en el C.D.T. Tantakin, y darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis, por todos sus conocimientos y enseñanzas compartidas y por todo el apoyo incondicional brindado durante mi estancia.

A los profesores M.C. Pedro Carrillo López y Dra. Laura E. Padilla González, por su colaboración y asesoría en el presente documento.

Al Dr. Francisco A. Cigarroa Vázquez por su colaboración y asesoría en los análisis estadísticos de esta tesis.

Al Centro de Desarrollo Tecnológico FIRA, Tantakin, Tzucacab, Yucatán, México y a todo el personal que en el labora, por todas las atenciones brindadas.

Al Dr. José Antonio Hernández Herrera por todo su apoyo incondicional, su tiempo, sus consejos y por todos sus conocimientos y enseñanzas adquiridos.

DEDICATORIA

A mi querida familia, mi madre Blanca Hernández Pérez, mi padre Felipe Martínez Sánchez, mi hermana Érica y mi hermano San Juan por todo su amor incondicional, por siempre brindarme su apoyo, por no dejar que me rindiera en mis momentos más difíciles, por estar conmigo en los malos y buenos momentos, por confiar en mí y por darme esta oportunidad de formarme como profesionalista. Familia los amo con todo mi corazón, gracias a ustedes soy la persona que soy y gracias a ustedes se logra una meta más en mi vida y este logro es para ustedes.

A todas mis amistades que siempre me brindaron su apoyo incondicional, por los buenos momentos y en ocasiones malos ratos, agradezco su tiempo y sus consejos positivos que permitieron que esta aventura fuera aún mucho mejor.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 10 de agosto de 1999 en San Luis de La Paz, San Luis de la Paz, Guanajuato, México.

- | | |
|------------------------|---|
| 2014 – 2017 | Estudios de preparatoria, SABES Sistema Avanzado de Bachillerato y Educación Superior. San Luis de La Paz, Estado de Guanajuato, Guanajuato, México. |
| Enero – Abril, 2021 | Prácticas profesionales. CDT Tantakin – FIRA, Tzucacab, Yucatán, México. |
| Agosto – Octubre, 2021 | Prácticas profesionales. Unidad de producción lechera "18 de Julio". Productora y Comercializadora Chapingo – URUZA S.C de R.L de C.V. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. |
| 2017 – 2021 | Estudios de Licenciatura. División de Ciencia Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. |

DECLARATORIA DE NO PLAGIO


Saltillo, Coahuila, febrero de 2022

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado “Fertilidad en vacas Brangus x Brahman tratadas con $PGF_{2\alpha}$ y GnRH” es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria, (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor; esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.

Atentamente



María Fernanda Martínez Hernández

Fertilidad en vacas Brangus x Brahman tratadas con PGF_{2α} y GnRH

María Fernanda Martínez Hernández¹

RESUMEN

El objetivo del presente experimento fue evaluar la aplicación de uno, dos, tres y cuatro dosis de prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}) a intervalos de 14 días y la aplicación de GnRH en la sincronización de estros y fertilidad de vacas Brangus x Brahman. El estudio se realizó en Yucatán, México, durante los meses de marzo a junio del 2021. Se evaluaron cuatro tratamientos y todas las vacas que mostraron estro recibieron 200 µg de GnRH (intramuscular; i.m) en el momento de la inseminación artificial (I.A.). T1: se utilizaron 14 vacas no lactantes con ≥160 d abiertos, recibieron una inyección de 25 mg de PGF_{2α}, i.m. T2: se utilizaron 12 vacas no lactantes con >120 ≤160 d abiertos, recibieron dos inyecciones de 25 mg de PGF_{2α}, i.m, a intervalo de 14 d. T3: se utilizaron 16 vacas en lactancia con >70 ≤120 d abiertos, recibieron tres inyecciones de 25 mg de PGF_{2α}, i.m, a intervalo de 14 d. T4: se utilizaron 9 vacas en lactancia con >60 ≤96 d abiertos, recibieron cuatro inyecciones de 25 mg de PGF_{2α}, i.m, a intervalo de 14 d. El estro se presentó 72 h después de la aplicación de PGF_{2α} en el T3 mostrando estro el 100% de los animales tratados (p>0.05). La tasa de concepción (100%) y preñez (83.3%) a 45 d fue mayor en el T2 (p>0.05). La aplicación de dos dosis de PGF_{2α} a intervalos de 14 d y 200 µg de GnRH en vacas no lactantes posparto, mejora la tasa de concepción en vacas Brangus x Brahman en condiciones tropicales a un costo menor de ocho dólares.

Palabras clave: Sincronización de estro, fertilidad, PGF_{2α}, GnRH, *Bos indicus*.

¹Alumna de Licenciatura. Trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Departamento de Producción Animal. División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Parte de este trabajo de investigación fue publicado en el **Congreso Internacional de Ciencias Agronómicas y Veterinarias – CICA V, 2021**. Dicha publicación se adjunta en la parte de anexos del presente documento.

ABSTRACT

The objective of the present experiment was to evaluate the application of one, two, three and four doses of prostaglandin F2 α (PGF2 α) at intervals of 14 days and the application of GnRH in the synchronization of estrus and fertility of Brangus x Brahman cows. The study was conducted in Yucatan, Mexico, during the months of March to June 2021. Four treatments were evaluated and all cows that showed estrus received 200 μ g of GnRH (intramuscular; im) at the time of artificial insemination (AI). T1: 14 non-lactating cows with ≥ 160 d open were used, received an injection of 25 mg of PGF2 α , i.m. T2: 12 non-lactating cows with $>120 \leq 160$ open days were used, they received two injections of 25 mg of PGF2 α , i.m, at an interval of 14 d. T3: 16 lactating cows with $>70 \leq 120$ open days were used, they received three injections of 25 mg of PGF2 α , i.m, at an interval of 14 d. T4: 9 lactating cows with $>60 \leq 96$ open days were used, they received four injections of 25 mg of PGF2 α , i.m, at an interval of 14 d. Estrus occurred 72 h after the application of PGF2 α in T3, showing estrus in 100% of the treated animals ($p > 0.05$). The conception rate (100%) and pregnancy (83.3%) at 45 d was higher in T2 ($p > 0.05$). The application of two doses of PGF2 α at intervals of 14 d and 200 μ g of GnRH in postpartum non-lactating cows improves the conception rate in Brangus x Brahman cows under tropical conditions at a cost of less than eight dollars.

Key words: Estrus synchronization, Fertility, PGF_{2 α} , GnRH, *Bos indicus*.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos particulares	3
1.2 HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Situación actual de la ganadería tropical	4
2.2 Alimentación y manejo del ganado en condiciones tropicales.....	5
2.3 Valor nutricional de forrajes tropicales	6
2.4 Características del ciclo estral del ganado <i>B. indicus</i>	7
2.5 Comportamiento del estro	8
2.6 Dinámica ovárica durante el ciclo estral.....	9
2.7 Dinámica folicular en el periodo posparto	10
2.8 Manipulación del ciclo estral de la vaca en el trópico.....	12
2.9 Protocolos de sincronización	12
2.10 Sincronización de estros y ovulación	13
2.11 Tratamientos con GnRH y PGF _{2α}	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Descripción del sitio experimental	16
3.2 Condiciones del clima durante el experimento.....	16
3.3 Manejo de animales y alimentación	16
3.4 Grupos experimentales	19
3.5 Variables evaluadas	20

3.6 Estimación de costos por vaca sincronizada.....	20
3.7 Análisis estadístico	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Porcentaje de estros y respuesta del estro (h) en función de la aplicación de la PGF _{2α}	22
4.2 Tasa de servicios.....	22
4.3 Tasa de concepción.....	23
4.4 Tasa de preñez	23
4.5 Condición corporal (CC)	25
4.6 Costos por vaca sincronizada	26
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. LITERATURA CITADA.....	29
VII. ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición del suplemento ofrecido a vacas Brangus x Brahman durante el desarrollo experimental.....	17
Cuadro 2. Composición química del suplemento mineral OrganicMix® ofrecido a vacas Brangus x Brahman durante el desarrollo experimental.....	18
Cuadro 3. Efecto de la PGF _{2α} a intervalos de 14 días en vacas Brangus x Brahman sobre la tasa de servicios, tasa de concepción y tasa de preñez [†]	24
Cuadro 4. Análisis de frecuencia de la condición corporal sobre la tasa de concepción en vacas Brangus x Brahman con distintos días abiertos usando diferentes aplicaciones de PGF _{2α} [†]	26
Cuadro 5. Estimación de costos por vaca sincronizada con hormonas inyectables de PGF _{2α} y GnRH en vacas Brangus x Brahman en el sureste de Yucatán, México.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura ambiental y precipitación acumulada durante el periodo experimental.....	17
Figura 2. Presentación del estro en vacas Brangus x Brahman a diferentes días posparto tratadas con PGF _{2α} a intervalo de 14 días.....	25
Figura 3. Aplicación de una sola dosis de PGF _{2α} y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas no lactantes con ≥160 días abiertos.....	42
Figura 4. Aplicación de dos dosis de PGF _{2α} a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas no lactantes con >120 ≤160 días abiertos.....	42
Figura 5. Aplicación de tres dosis de PGF _{2α} a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas en lactancia con >70 ≤120 días abiertos.....	43
Figura 6. Aplicación de cuatro dosis de PGF _{2α} a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas en lactancia con >60 ≤96 días abiertos.....	43

I. INTRODUCCIÓN

La producción de carne de bovino debe aumentar de 60 a 130 millones de toneladas proyectándose hacia el 2050 con el objetivo de alimentar a una población mundial en crecimiento y se espera que el 70% de esta producción, provenga de regiones tropicales y subtropicales del mundo (Cooke *et al.*, 2020). La producción de bovinos de carne en condiciones de pastoreo es de gran importancia, debido a los bajos costos de producción que representa y a la gran variedad de especies forrajeras que se adaptan en estas zonas, lo cual su disponibilidad tiene una influencia significativa en la alimentación del ganado, sin embargo, existe la desventaja de la baja calidad nutricional del forraje y la baja producción de biomasa en determinadas épocas del año (Garay *et al.*, 2020), reflejándose en bajas tasas de ganancia de peso en el animal (Mijares-López *et al.*, 2012).

Los sistemas actuales de alimentación en rumiantes bajo condiciones de praderas tropicales y apoyados con suplementación energética, proteica y mineral, permiten satisfacer los requerimientos nutricionales del animal, tanto en cantidad como en calidad, logrando incrementar la ganancia diaria de peso y obtener mayores rendimientos de carne por hectárea, además, se mejora la eficiencia del aprovechamiento del forraje por unidad de área (Vendramini y Moriel, 2018).

La ganadería tropical de México es considerada como una de las principales actividades para la producción de carne y leche, basado mediante un sistema de producción de doble propósito, donde la raza *Bos indicus* predomina por su gran capacidad de adaptación a clima tropical y al pastoreo extensivo debido a su rusticidad y evolución en altas temperaturas, y humedad relativamente superior al 60%, así mismo, presentan resistencias a enfermedades e infecciones parasitarias (Sá Filho *et al.*, 2010b).

Las principales limitantes del ganado *B. indicus* y sus cruzas con *B. taurus* son los parámetros reproductivos; baja detección de estros, anestro posparto prolongado y pubertad tardía (Baruselli *et al.*, 2002). Esta situación trae como consecuencia bajas tasas de preñez y por tanto baja producción de carne y leche, lo cual se ve reflejado como pérdidas económicas para

los productores. El anestro posparto es uno de los desafíos a los que hoy en día se enfrentan los productores que manejan ganado *B. indicus*, y los principales factores que lo afectan son el amamantamiento y la nutrición del animal que es evaluada mediante el puntaje de condición corporal, los cuales influyen en la reanudación de los ciclos ováricos posparto, ya que afectan la actividad hipotalámica-pituitaria-ovárica y subsecuentemente inhiben el desarrollo folicular y presencia de estro, evitando alcanzar intervalos deseables de 12 meses entre partos (Báez y Grajales, 2009).

Respecto a las limitantes que se enfrentan los ganaderos en el manejo reproductivo, actualmente existen una variedad de protocolos en el mercado que permiten sincronizar el estro o la ovulación (Bó *et al.*, 2002). El uso de protocolos de sincronización del estro e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en vacas, son prácticas que permiten mejorar la fertilidad, acelerar la mejora genética con la finalidad de que de igual forma se mejore la eficiencia reproductiva y productiva del hato (Sá Filho *et al.*, 2010b).

El objetivo de los protocolos de sincronización del estro es manipular el ciclo estral de la vaca, controlando la vida del cuerpo lúteo y la aparición de nuevas ondas foliculares (Ayres *et al.*, 2013), mediante la utilización de hormonas como la prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) y GnRH (Wiltbank *et al.*, 2015), que nos permiten acortar los intervalos entre partos permitiendo obtener una cría por hembra por año.

Para tener éxito con los protocolos de sincronización se requiere de una nutrición adecuada, una condición corporal aceptable, semen de alta calidad, buena salud del animal, una técnica eficiente de detección de estro, periodo posparto apropiado y un técnico de inseminación artificial eficiente. Sin embargo, la insuficiencia de alguna de las áreas puede llevar a predecir el fracaso de un protocolo de sincronización de estro (Smith *et al.*, 2012; Gizaw *et al.*, 2016).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

El objetivo del presente experimento fue evaluar la aplicación de una, dos, tres y cuatro dosis de prostaglandina ($\text{PGF}_{2\alpha}$) a intervalos de 14 días y la aplicación de GnRH en la sincronización de estros y fertilidad de vacas Brangus x Brahman.

1.1.2 Objetivos particulares

Evaluar los siguientes parámetros en vacas Brangus x Brahman:

Tasa de estros.

Hora promedio de estros en respuesta a la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$.

Condición corporal y su relación con la tasa de concepción.

Tasa de servicios.

Tasa de concepción.

Tasa de preñez.

Estimar costos de sincronización

1.2 HIPÓTESIS

Las vacas con menos días abiertos y en estado de lactancia con becerros al pie, mostrarán menor tasa de concepción que las vacas con mayores días abiertos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual de la ganadería tropical

La ganadería en México, se desarrolla en diversas condiciones agroecológicas que dan origen a varios sistemas de producción, desde un sistema altamente tecnificado y especializado en el norte del país, sistemas de doble propósito en zona tropical y subtropical del país, y sistemas familiares en el altiplano central (Absalón-Medina *et al.*, 2012; SIAP-SAGARPA, 2013).

México ocupa el octavo lugar a nivel mundial en la producción de bovinos con un inventario de más de 33 millones de cabezas, la cual se mantiene en una superficie de 147 millones de ha (equivalente al 73% del territorio nacional). Las regiones ganaderas de nuestro país están divididas en tres: zonas áridas y semiáridas que representan el 20.3% del hato nacional, mientras que la zona templada el 16.2% y zonas tropicales 63.5%. Los principales estados productores de bovinos son: Veracruz, Jalisco, Chiapas y San Luis Potosí (SIAP, SAGARPA, 2017).

La ganadería del trópico se caracteriza por el sistema de producción de doble propósito, que se ha desarrollado bajo el sistema de pastoreo extensivo y es considerado como una de las actividades principales para la producción de leche y carne (Orantes *et al.*, 2010). El sistema de producción de doble propósito cobra especial importancia ya que el área tropical de México abarca 51.3 millones de hectáreas (equivalente al 26.2% del territorio nacional). De esta superficie 19 millones de hectáreas se dedican a la producción pecuaria, donde pastorean aproximadamente, 12 millones de bovinos (40% del inventario nacional), que producen el 15% y 39% de leche y carne respectivamente, que se consume en México (Robledo, 2018). En este sistema de producción, la leche se obtiene por medio del ordeño de manera manual y con el apoyo del ternero para estimular la bajada de la leche, y la producción de carne se obtiene mediante la cría de becerros al destete y el desecho de bovinos para el suministro de carne (Vilaboa y Díaz, 2009).

Dentro de las principales regiones productoras de leche en el trópico mexicano se encuentran los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y la Huasteca (Martínez-Castro *et al.*, 2012). El 80% de la ganadería de doble propósito se concentra en los primeros tres, y el resto se distribuye en los diferentes estados con clima subtropical (Rivas, 1992).

2.2 Alimentación y manejo del ganado en condiciones tropicales

En las regiones tropicales, los pastos y forrajes son la principal fuente de alimentación para el ganado bovino. Considerándose la fuente de nutrimentos más barata que se puede producir en estas zonas cuyo aprovechamiento racional ayuda a transformar ese producto en leche y carne (Cruz *et al.*, 2017).

La alimentación del ganado se basa en el pastoreo extensivo mediante el uso de gramas nativas, praderas inducidas con pastos y leguminosas mejoradas, de las gramas nativas se utilizan especies de los géneros *Paspalum* y *Axonopus*, estos pastos generalmente tienen una producción baja de materia seca y comportamiento estacional, que se suma a un bajo valor nutritivo, pero son de gran importancia en la alimentación del ganado por la gran superficie que ocupan en la región tropical de México (55% a 65%), y en las praderas inducidas se utilizan especies de géneros *Megathyrsus*, *Urochloa*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Cenchrus* *Hyparrhenia*, y *Andropogon*, así como también se han introducido algunas especies de leguminosas tales como Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), Clitoria var. Tehuana (*Clitoria ternatea* L.), Cacahuatillo (*Arachis pintoï*) y el huaje (*Leucaena leucocephala*), estas últimas como monocultivos o como bancos de proteína.

Entre las alternativas más viables para mejorar la calidad de las pasturas tropicales está la utilización de leguminosas, que también forman parte de la alimentación del ganado ayudando a mejorar su productividad, son utilizadas por tener mayor contenido de proteína y mejor digestibilidad, además de la capacidad de producir buena cantidad de forraje en la época de sequía.

Según Rubio *et al.* (2013), en la región tropical húmeda y subhúmeda de México, el pastoreo es el sistema de producción bovina que más predomina, empleando el manejo del ganado en libre pastoreo y en pastoreo controlado. En este sistema, durante el periodo seco del año se presentan problemas para la alimentación del ganado, porque en este periodo la producción de forraje disminuye, afectando el desempeño del animal, ocasionando baja producción de leche y pérdida de peso por la variación en la calidad nutritiva que contiene los forrajes en este periodo de sequía (Souza, 2008). Esta problemática también está relacionada con la capacidad de carga animal que se establece en los potreros, Según (Magaña *et al.*, 2006) mencionan que en el pastoreo controlado debemos de utilizar una carga animal de menos de 0.3 a 3.5 unidades animal por hectárea (UAha⁻¹) para tener un mejor aprovechamiento del forraje.

Con base a lo anterior, una alternativa para aumentar la productividad del ganado en las zonas tropicales es el uso de la suplementación en pastoreo, que consiste en proporcionar al animal los requerimientos nutricionales que el alimento principal (pasto) no puede suplir completamente, existiendo este desbalance tanto en el periodo de lluvias como en el periodo seco (Mijares *et al.*, 2012). La suplementación permite: corregir dietas desbalanceadas, aumentar la eficiencia del uso de pastos, aumentar la capacidad de carga animal en los potreros, mejorar el desempeño animal en cuanto a reproducción y producción de leche y carne (Estrada *et al.*, 2019)

El ganado que predomina en la región tropical y subtropical son razas Cebuinas como: *B. indicus* (Brahman, Nelore, Guzerat, Gyr) o sus cruzas con *B. taurus* como Holstein y Pardo Suizo para la producción de leche y Charolais o Simmental para incrementar la ganancia diaria de peso en becerros (Martínez *et al.*, 2002; Aranda-Ávila *et al.*, 2010).

2.3 Valor nutricional de forrajes tropicales

Los pastos tropicales son de gran importancia en la producción de forrajes y en América Tropical, ocupan más de 80 millones de hectáreas (Boddey *et al.*, 2004). Las plantas del género *Megathyrus* se caracterizan por su gran potencial de producción de biomasa y calidad (Medinilla, 2012). La especie (*M. maximus*) es utilizado en el trópico para alimentar el ganado,

se caracteriza por su fácil establecimiento (Munari *et al.*, 2017) buen rebrote, buen tamaño de lámina foliar, buena relación hoja:tallo y tiene alto rendimiento de biomasa (22.8 t de materia seca por hectárea por año; MS ha⁻¹ año⁻¹) (Patiño *et al.*, 2018). Su contenido nutrimental es de 11% de proteína cruda (PC), 41% de fibra detergente ácido (FDA), 68% de fibra detergente neutro (FDN), 1.6% de extracto etéreo, además contiene cenizas (13.4%), calcio (0.29%) y fósforo (0.26%) (Molina *et al.*, 2015).

Los pastos del género *Urochloa* son pastos que presentan características productivas deseables como: mayor rendimiento de biomasa por unidad de superficie (Clazada *et al.*, 2019) excelente adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas (Baptistella *et al.*, 2020) y composición química adecuada (Avelino *et al.*, 2020), de tal modo que pueden ser una alternativa para la producción de forraje e incrementar los niveles de producción de carne y leche en zonas tropicales.

Debido a su hábito de crecimiento y calidad nutricional los pastos del género *Urochloa*, son importantes en la producción animal. Al respecto, al evaluar 10 especies de pastos tropicales, Vendramini *et al.* (2010) reportaron que, el pasto Mulato II (*Urochloa* spp.) puede alcanzar hasta 670 g kg⁻¹ de digestibilidad *in vitro*. En este sentido, se han reportado valores de 640 a 700 g kg⁻¹ para la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y valores de 100 a 180 g kg⁻¹ para proteína cruda (Inyang *et al.*, 2010b) y con un rendimiento de biomasa de 11 a 15 t ha⁻¹ año⁻¹ (Garay *et al.*, 2017).

2.4 Características del ciclo estral del ganado *B. indicus*

Las diferencias entre el ganado *B. taurus* y *B. indicus* radican en el comportamiento y duración del estro. Una de las mayores limitantes es la detección de estros en ganado *B. indicus* o cruza *B. taurus* debido a las particularidades en el comportamiento reproductivo y la dificultad de la observación de estros (Baruselli *et al.*, 2001). En los animales *B. indicus* el estro es significativamente más corto que en *B. taurus* y la manifestación es menos intensa (Gimenes *et al.*, 2008), las hembras en estro no permiten ser montadas repetidamente, sino que en promedio aceptan una monta por cada hora de estro (Fuentes *et al.*, 1998).

Según Hernández *et al.* (2017), el ciclo estral de la hembra *B. indicus* oscila entre 18 y 24 días. La duración promedio del estro en celo natural en *B. indicus* se ha demostrado que dura unas 10 h, con variaciones entre una a tres y 20 h (Pinheiro *et al.*, 1998). En estudios más recientes Cavalieri *et al.* (1997) y Pinheiro *et al.* (1998) reportaron duraciones de 25 a 29 h.

Se han realizado estudios donde se utilizó el sistema Heat-Watch para detectar el inicio y la duración del estro en *B. taurus* × *B. indicus* en novillas cruzadas. La duración media del estro fue de 10.4 ± 5.7 h (Membrive, 2000) y 10.8 ± 5.1 h y el intervalo desde el inicio del estro a la ovulación fue de 27.6 ± 5.1 h (Rocha, 2000). En un estudio realizado por Landaeta-Hernández *et al.* (2002) menciona que en vacas Angus la duración del estro fue de 19 ± 2 h y en Brahman fue de 17 ± 2 h cuando fueron sincronizadas con PGF_{2α}. Por otro lado, Mizuta (2003) demostró que en vacas Nelore el estro duro 12.9 h y en Angus 16.3 h, mientras que en las vacas cruzadas de Nelore x Angus fue de 12.4 h así mismo, la ovulación se presentó 27.1 ± 3 h y 26.1 ± 6 h después de iniciado el estro en vacas Nelore y Angus, respectivamente.

2.5 Comportamiento del estro

El ganado *B. indicus* por lo general tiene un temperamento muy particular que dificulta la detección del estro, estros silenciosos o perdidos han sido reportados, incluso después de una detección regular de estros (Bo *et al.*, 2003), también presentan altas tasas de expresión de estro durante la noche y una alta incidencia de anestro posparto (Baruselli *et al.*, 2004). Según Pinheiro *et al.* (1998) reportaron que un 54% de vacas Nelore presentan estro por la noche (18:00 y 6:00 h) del mismo modo Membrive (2000), también reportó mayor actividad durante la noche vs. durante el día.

Los patrones de secreción de gonadotropinas en el periodo posparto también difieren entre *B. taurus* y *B. indicus*. El ganado *B. indicus* tiene una secreción pulsátil de LH menor que el ganado *B. tauros* (D'Occhio *et al.*, 1990). Dobson y Smith (2000), mencionan que la exposición a factores estresantes (ambientales, de manejo o derivados de animales) afecta la frecuencia y amplitud de los pulsos de GnRH y LH y retrasa el pico preovulatorio de LH con una consiguiente disminución de la expresión del estro y la incidencia de ovulación normal.

2.6 Dinámica ovárica durante el ciclo estral

La dinámica folicular de hembras *B. indicus* está caracterizada por la presencia de dos o tres ondas foliculares en la mayoría de los ciclos estrales (Rodhes *et al.*, 1995; Figueiredo *et al.*, 1997), mientras que el ganado *B. taurus* presenta de dos a cuatro ondas foliculares durante su ciclo estral, con un porcentaje mayor de dos ondas, y raramente cuatro (Sartori *et al.*, 2004). En estudios conducidos en novillas Nelore, vacas Gyr y Brahman, se han reportado dos, tres y hasta cinco ondas foliculares (Zeitoun *et al.* 1996; Viana *et al.*, 2000; Mollo *et al.*, 2007) las cuales pueden variar en función de la estación presente en el año.

Las características de crecimiento y dominancia folicular fueron similares a las de *B. taurus*, excepto que la hembra *B. indicus* parecen tener un diámetro máximo en el folículo dominante (10-12 mm), mientras que el CL su tamaño varía de 17 a 21 mm (Bo *et al.*, 1993a, b; Rhodes *et al.*, 1995a; Figueiredo *et al.*, 1997). Por otro lado, el ganado *B. taurus* su tamaño en el folículo dominante tiende a ser de mayor tamaño (14-20 mm) y los CL pueden crecer de 20 a 30 mm (Ginther *et al.*, 1989), debido a estas diferencias fisiológicas marcadas entre razas *B. indicus* y *B. taurus*, dificultan la detección y sincronización de estros, ya que palpar el CL en razas *B. indicus* es difícil por ser de menor tamaño, por tanto, el contenido de progesterona (P4) tiende a ser menor.

Segerson *et al.* (1984), mencionan que las vacas Nelore (*B. indicus*) presentan una mayor población de folículos pequeños entre dos a cinco mm durante todo el ciclo estral, comparado con vacas Holstein (*B. taurus*). Por otro lado, Bastos *et al.* (2010), reportaron que ambas razas presentan desviación de folículos entre el día (d) dos y tres después de la ovulación y detectaron que la desviación folicular se producía cuando el mayor folículo en desarrollo alcanzaba 7 ± 0.2 y 8.9 ± 0.4 mm, en vacas Nelore y Holstein, respectivamente.

Rodhes *et al.* (1995a), encontraron que la tasa de crecimiento por día del folículo dominante en la tercera onda folicular en vacas *B. indicus* fue más lento en otoño (1.1 mm) que en primavera (1.5 mm), mientras que el folículo en las vacas *B. taurus* tendió a crecer más rápido durante el otoño (1.6 mm) que en primavera (1.4 mm), mientras que Rodhes *et al.* (1995a),

reportaron que por cada hora adicional de duración del día, el diámetro máximo del folículo dominante puede aumentar 0.5 ± 0.1 mm y el diámetro máximo del CL también puede aumentar 0.8 ± 0.2 mm. Por otro lado, Zeitoun *et al.* (1996), reportaron mayores concentraciones plasmáticas de progesterona en vacas Brahman en la primavera (6.3 ± 0.4 ng ml⁻¹) que en otoño (4.8 ± 0.6 ng ml⁻¹). Todas estas diferencias están relacionadas con el fotoperiodo el cual también es un factor que limita la detección de estro en vacas *B. indicus*.

2.7 Dinámica folicular en el periodo posparto

El anestro posparto es la ausencia de estro y ovulación dentro de los primeros 60 días después del parto. Fisiológicamente la vaca presenta una involución uterina dentro de los 15 a 45 días posteriores al parto, donde la mayoría de las vacas reanudan la actividad ovárica (Madhuri *et al.*, 2017).

El desarrollo de ondas foliculares ocurre temprano después del parto, normalmente hay un aumento de FSH seguido de la primera onda folicular en los días dos a siete después del parto (Wiltbank *et al.*, 2002). Sin embargo, la ovulación del folículo dominante solo ocurre cuando se expone a la adecuada frecuencia de pulso de LH (aproximadamente 1 pulso/h) para crecer y aumentar la producción de 17 β-estradiol, que eventualmente resultaría en un aumento de LH y ovulación (Wiltbank *et al.*, 2002). El primer folículo dominante puede no ser liberado y puede volverse atrésico lo que lleva al posterior crecimiento de nuevas oleadas foliculares, al respecto Murphy *et al.* (1990) encontraron que el folículo dominante de la primera onda folicular puede ovular en el 11% de las vacas de carne en lactancia.

Los patrones de secreción de gonadotropinas en el periodo posparto también difieren entre *B. taurus* y *B. indicus*, razón por lo cual el tiempo en obtener una ovulación varían notablemente, por lo que en el ganado *B. indicus* se prolongan tiempos más largos en obtener la primera ovulación después del parto debido a que presenta una secreción pulsátil de LH menor, sobre todo en vacas con condición corporal baja y manejos inadecuados postparto (D'Occhio, 1990; Diskin y Kenny, 2016).

La nutrición (condición corporal) y el amamantamiento son los factores principales que inhiben la ovulación posparto en las vacas de carne, una mala nutrición es la principal causa de la reducción de la fertilidad en el ganado en condiciones de pastoreo en el trópico (Bo *et al.*, 2003), esto se debe al bajo valor nutricional de las praderas y variaciones en el crecimiento vegetativo anual y a los sistemas alimenticios mal manejados por los propietarios, ocasionando pérdidas de peso y estado corporal, dando lugar a la disminución de la manifestación del estro posparto. La baja disponibilidad de energía en la dieta afecta adversamente la función ovárica en vaquillas reduciendo el diámetro y la persistencia de folículos dominantes y en vacas posparto retrasan el desarrollo de folículos grandes (Wiltbank *et al.*, 2002).

Wettemann *et al.* (2003) mencionan que vacas con una condición corporal (CC) \leq cuatro (escala de uno a nueve) durante el postparto, no conciben a un nivel aceptable y pueden presentar intervalos entre partos mayor a 12 meses comparando con vacas con una CC superior a cinco. Además, la CC al parto está asociada con la lactación, salud y el vigor del ternero recién nacido. Cuando las vacas tienen una CC de cinco a siete al parto, la reactividad ovárica es más rápida que aquellas vacas con una CC menor a cinco.

El amamantamiento también es otro factor importante que influye en la inactivación ovárica después del parto. El amamantamiento y la presencia constante del becerro afecta el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, mediante la reducción de liberación de GnRH, la cual conduce a insuficientes pulsos de LH, debido a esto los folículos son incapaces de madurar y por lo tanto de ovular, ya que existe una incorrecta síntesis de estrógenos a nivel folicular (Williams *et al.*, 1996).

Por lo tanto, controlar la interacción del amamantamiento y la nutrición de la vaca después del parto facilita las condiciones necesarias para el reinicio de la actividad ovárica y la gestación temprana que se puede alcanzar entre 85 y 90 días postparto (Diskin y Kenny, 2016). El destete temprano y el amamantamiento restringido o controlado son las prácticas zootécnicas que más se han utilizado para acortar el periodo de anestro posparto y hacer más eficiente la reproducción de las vacas (Barreiros *et al.*, 2014).

Al realizar estas prácticas ya mencionadas, es necesario ofrecer suplementos alimenticios a las vacas para disminuir o inhibir los efectos negativos que el estado nutricional y el amamantamiento ejercen sobre el desarrollo folicular y la ovulación después del parto, y así de esta manera reducir los días abiertos y lograr que la vaca tenga una concepción temprana entre 85 y 90 días postparto (Bó *et al.*, 2003).

2.8 Manipulación del ciclo estral de la vaca en el trópico

La situación actual de la ganadería exige a los productores una mayor eficiencia para mejorar la rentabilidad de las explotaciones de bovinos, en este contexto, la optimización de la eficiencia reproductiva es uno de los principales factores que contribuyen a mejorar las utilidades. Sin lugar a dudas la tasa de preñez, tiene un impacto económico muy importante en las explotaciones de bovinos (Baruselli *et al.*, 2003).

De acuerdo al ganado del trópico *B. indicus* y sus cruzas con *B. tauros*, por sus particularidades reproductivas presentan problemas en la detección de estro, anestro posparto y pubertad tardía, lo cual trae como consecuencias bajas tasas de preñez y pérdidas económicas para los productores (Fernández-Figueroa *et al.*, 2017). Para reducir estas limitantes en la ganadería se han venido implementando nuevas tecnologías con el paso del tiempo que consisten en la manipulación del ciclo estral utilizando diversas hormonas exógenas mediante protocolos de sincronización de estro y ovulación que permiten llevar a cabo la IA y IATF ayudando a mejorar la fertilidad, los parámetros reproductivos y a mejorar la genética del hato (Sá Filho *et al.*, 2010b).

2.9 Protocolos de sincronización

Según Patterson *et al.* (2003) las investigaciones enfocadas al control y manipulación del ciclo estral en la vaca, puede ser ordenado en cinco fases distintas: la primera fase comprende en prolongar la fase lútea a través de la administración de progesterona exógena. La segunda fase evalúa métodos con estrógenos y gonadotropinas. La tercera fase se caracteriza por la utilización de prostaglandinas con el objetivo de acortar la fase lútea. La cuarta fase comprende

métodos que involucran progestágenos y prostaglandinas. La quinta fase evalúa el control del ciclo estral manipulando la fase lútea y el crecimiento folicular.

Los protocolos de sincronización del estro y sincronización de la ovulación son herramientas de manejo reproductivo que han estado disponibles para los productores de ganado desde hace más de 30 años (Lam *et al.*, 2009). El uso de estos protocolos es de gran importancia, ya que garantizan que las vacas sean inseminadas en el estro detectado o bajo IATF, lo cual permite inseminar un gran número de animales en un período de tiempo establecido con la finalidad de mejorar los parámetros reproductivos.

2.10 Sincronización de estros y ovulación

La sincronización de estros en bovinos permite alcanzar mejores desempeños reproductivos incrementando la efectividad de los tratamientos con la inducción de la ovulación y la ciclicidad, los cuales permiten lograr mejores tasas de preñez en los rebaños. El principio general para la sincronización de estros y la ovulación es controlar la aparición de la onda folicular y el establecimiento de un nuevo folículo dominante de una manera predecible lo cual permitirá dar una IATF (Yu *et al.*, 2018).

Odde (1990) menciona que la $PGF_{2\alpha}$ ha sido el tratamiento más utilizado para la sincronización de estro en bovinos. La $PGF_{2\alpha}$ causa regresión del CL a partir del día cinco del ciclo estral y su mayor efecto luteolítico se alcanza entre los días 12 y 17; el estadio del folículo dominante en el momento de la aplicación de la $PGF_{2\alpha}$ va a producir una variación del momento del celo y la ovulación de dos a siete días (Kastelic y Ginther, 1991). En el ganado *B. indicus*, incluso cuando se confirmó la presencia de un CL funcional en el momento de tratamiento con $PGF_{2\alpha}$, la respuesta al estro fue aproximadamente un 30% menor que el 90% informado para el ganado *B. taurus*, lo cual refleja bajos índices de concepción (Galina y Arthur, 1990).

La asociación del 17 β -estradiol (E2) y la progesterona inducen la regresión folicular y la subsiguiente emergencia de la onda folicular sincronizada (Bó *et al.*, 2002). El benzoato de estradiol (BE) se ha utilizado con éxito en los últimos años, ya que suprime a la FSH de modo

prolongado y limitando la aparición de una nueva onda folicular, permitiendo trabajar con éxito los protocolos de IATF en vacas *B. indicus* y *B. taurus* (Sá Filho *et al.*, 2010a).

Después de la luteolisis se deben de utilizar inductores de la ovulación para lograr una ovulación sincronizada, uno de ellos es GnRH que se ha utilizado con éxito en los protocolos de sincronización para la IATF en ganado de carne y leche (Geary *et al.*, 2001). El tratamiento con GnRH en el momento de la IA basado en progestina en vacas *B. indicus* previno la aparición de ovulaciones retrasadas, mejorando la sincronización de las ovulaciones y la preñez (Sá Filho *et al.*, 2010a).

El BE también se ha utilizado con éxito para inducir la ovulación en protocolos de estradiol (E_2) más progesterona (Melo *et al.*, 2016). El cipionato de estradiol (CE) se ha utilizado rutinariamente en protocolos de IATF basados en progesterona (P4) para sincronizar el momento de la ovulación en vacas *B. indicus* en lactancia y con presencia del becerro al pie (Sá Filho *et al.*, 2009).

2.11 Tratamientos con GnRH y $PGF_{2\alpha}$

Las combinaciones de tratamientos con GnRH y $PGF_{2\alpha}$ se han utilizado con éxito en protocolos de sincronización y ovulación para la IA en ganado de carne y leche (Thatcher *et al.*, 2001). Uno de estos protocolos de tratamiento de GnRH más $PGF_{2\alpha}$ se conoce como OvSynch (Pursley *et al.*, 1995), y consiste en una inyección de GnRH en el día cero, seguida de $PGF_{2\alpha}$ siete días después, una segunda inyección de GnRH 48 h después del tratamiento con $PGF_{2\alpha}$, realizando la IATF de 15 a 24 h después de la segunda inyección de GnRH.

Este protocolo con el paso del tiempo se ha venido modificando para adaptarse a los problemas de gestión, otro de ellos es el OvSynch-56, consiste en una inyección de GnRH en el día cero, seguida de $PGF_{2\alpha}$ siete días después, una segunda inyección de GnRH 56 h después del tratamiento con $PGF_{2\alpha}$ y se realiza la IATF a las 16 h después de la aplicación de GnRH (Brusveen *et al.*, 2008). Otro protocolo es el PreSynch-ovSynch, consiste en la administración de dos inyecciones de $PGF_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días y 11, 12 o 14 días después de la segunda

aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ se inicia con el protocolo OvSynch, este protocolo ha mostrado una mejoría de 6 a 12% en la tasa de preñez en comparación con solamente OvSynch (Wiltbank y Pursley, 2014; Giordano *et al.*, 2016).

Otro protocolo es el Doble-ovSynch, como su nombre lo indica se emplea dos veces el OvSynch, este protocolo tiene una duración de 28 días y tienen la ventaja adicional de mejorar la ciclicidad y la tasa de preñez en vacas anovulares (Souza *et al.*, 2008). Uno de los mayores inconvenientes del protocolo Doble-ovSynch es su duración y el número de manipulaciones por vaca, para disminuir estos problemas se diseñó un programa de sincronización llamado G6G o G7G (Bello *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2018).

En este protocolo las vacas reciben un tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$ en día cero y dos días después un tratamiento con GnRH, seis o siete días antes de iniciar el protocolo OvSynch. Tiene la ventaja de ser nueve días más corto y se ha demostrado que mejora la sincronía folicular y la preñez (Stevenson *et al.*, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) “Tantakin” propiedad de Fideicomisos Instituidos con Relación a la Agricultura (FIRA), ubicado en el municipio de Tzucacab localizado en la región sur del estado de Yucatán, (19° 38’ y 20° 09’ LN y 88° 59’ y 89° 14’ LO); a 36 msnm (INEGI, 2000), la zona presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y con un porcentaje de lluvia invernal menor a cinco. Los vientos que predominan soplan en dirección este y sureste y en la región la precipitación puede darse de 1000-1200 mm. La vegetación que predomina en la zona es de tipo selva mediana subperennifolia (Flores y Espejel, 1994).

3.2 Condiciones del clima durante el experimento

Las temperaturas ambientales y precipitaciones registradas durante el experimento se obtuvieron de la estación meteorológica del Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) “Tantakin”, Yucatan México. Donde la temperatura máxima fue de 34.6 °C; mientras que la mínima fue de 15.6 °C. La precipitación acumulada fue de 254.6 mm (Figura 1).

3.3 Manejo de animales y alimentación

El experimento inició el 6 de marzo y culminó el 21 de junio del 2021. Se utilizaron 51 vacas Brangus x Brahman de tres a seis años de edad con un peso vivo de 471 ± 46 kg., y se distribuyeron en cuatro tratamientos. La alimentación estuvo basada bajo un sistema en pastoreo extensivo rotacional en potreros de pasto Mombasa (*Megathyrus maximus* cv. Mombaza), Mestizo blend (*Urochloa* híbridos CIAT 36087, CIAT BR02/0465, CIAT BR02/1794), Camello (*U.* híbrido), se suplementó con un kilogramo de alimento balanceado (Cuadro 1).

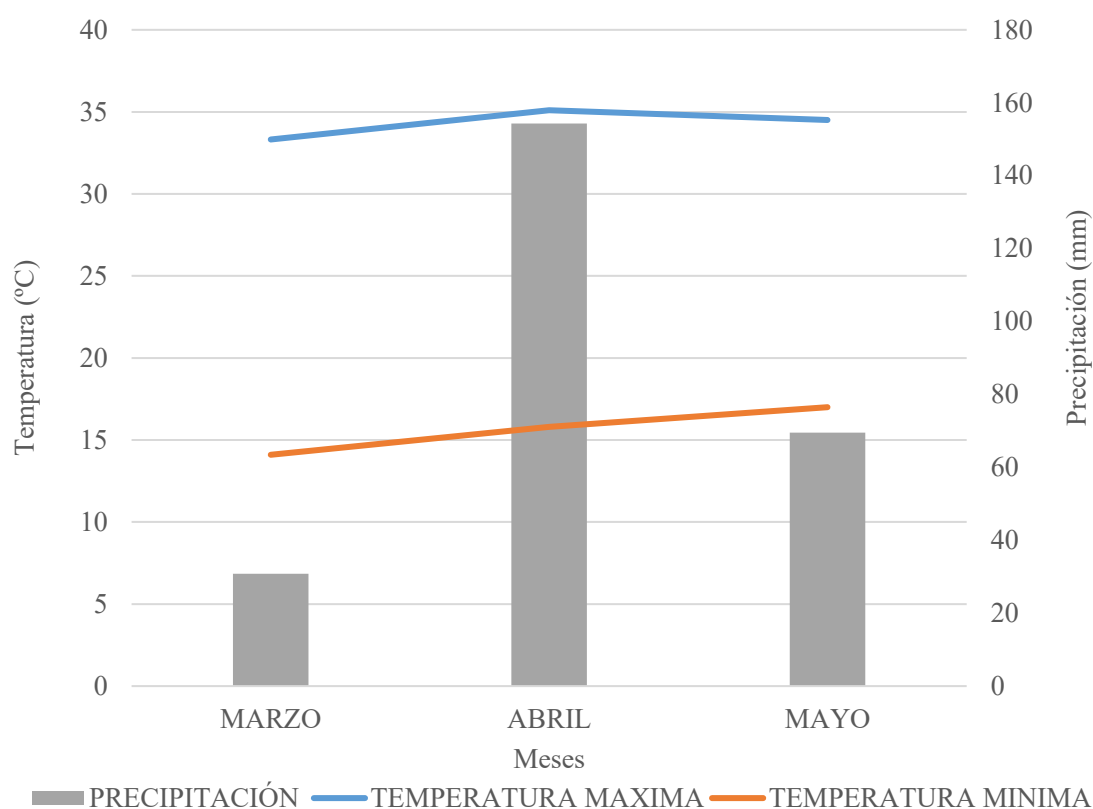


Figura 1. Temperatura ambiental y precipitación acumulada durante el periodo experimental.

Cuadro 1. Composición del suplemento ofrecido a vacas Brangus x Brahman durante el desarrollo experimental.

Ingredientes	% en base seca
Maíz molido	65
DDGS	15
Pasta de canola	15
Melaza	5

Todos los animales de manera rutinaria reciben 100 g de minerales OrganicMix® por vaca por día, los minerales usados son de la empresa Biotecap (<http://www.biotecap.com.mx/>) y la composición química se muestra en el Cuadro 2. Aunque no se evaluó el efecto de los minerales en los parámetros reproductivos, es necesario comentar que los minerales cumplen funciones específicas en la salud de los rumiantes (McDowell y Arthington, 2005).

Cuadro 2. Composición química del suplemento mineral OrganicMix® ofrecido a vacas Brangus x Brahman durante el desarrollo experimental.

Componente	Cantidad
Calcio, g	27.5
Fosforo, g	14
Magnesio, g	10
Sodio, g	10
Cloro, g	8.5
Azufre, g	3
Selenio, ppm	5.5
Cromo, ppm	3
Cobre, ppm	260
Zinc, ppm	850
Manganeso, ppm	40
Cobalto, ppm	2
Iodo, ppm	4
Hierro, ppm	30
Ionóforo, ppm	100
Vitamina A, UI	150
Vitamina D, UI	150
Vitamina E, UI	20

3.4 Grupos experimentales

Tratamiento 1 (T1): Se utilizaron 14 vacas no lactantes con ≥ 160 días abiertos, recibieron una sola dosis de 25 mg (intramuscular; i.m.) de dinoprost trometamina ($\text{PGF}_{2\alpha}$, 5.0 ml de Lutalyse, Zoetis) (Se anexa Figura 3). El estro fue monitoreado bajo la regla am-pm; (6:00-10:00 a.m.) y (16:00-19:00) durante cinco días consecutivos a la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$. Las vacas que mostraron estro fueron inseminadas 12 h después y recibieron 200 μg (i.m.) de gonadorelina acetato (GnRH, 2.0 ml, Sanfer) en el momento de la inseminación artificial.

Tratamiento 2 (T2): Se utilizaron 12 vacas no lactantes con $>120 \leq 160$ días abiertos, recibieron dos inyecciones de 25 mg (i.m.) de dinoprost trometamina ($\text{PGF}_{2\alpha}$, 5.0 ml de Lutalyse, Zoetis) a intervalo de 14 ds (Se anexa Figura 4). Las vacas que mostraron estro a la primera aplicación no se inseminaron. Las vacas que mostraron estro a la segunda dosis (5 ml, i.m., Lutalyse, Zoetis) fueron monitoreadas bajo la regla am-pm y se inseminaron 12 h después de iniciado el estro, recibiendo 200 μg (i.m.) de gonadorelina acetato (GnRH, 2.0 ml, Sanfer) en el momento de la inseminación artificial.

Tratamiento 3 (T3): Se utilizaron 16 vacas en lactancia con $>70 \leq 120$ días abiertos, recibieron tres inyecciones de 25 mg (i.m.) de dinoprost trometamina ($\text{PGF}_{2\alpha}$, 5.0 ml de Lutalyse, Zoetis) a intervalo de 14 ds (Se anexa Figura 5). Todas las vacas fueron destetadas al momento de dar la segunda dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$. Las vacas que mostraron estro en la primera y segunda inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ no se inseminaron. Todas las vacas en estro en respuesta a la tercera aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ fueron inseminadas bajo el esquema am-pm y recibieron 2.0 ml de GnRH en el momento de la inseminación artificial.

Tratamiento 4 (T4): Se utilizaron 9 vacas en lactancia entre $>60 \leq 96$ días abiertos, recibieron cuatro inyecciones de 25 mg (i.m.) de dinoprost trometamina ($\text{PGF}_{2\alpha}$, 5.0 ml de Lutalyse, Zoetis) a intervalo de 14 días (Se anexa Figura 6). Todas las vacas fueron destetadas al momento de dar la tercera dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$. Las vacas que mostraron estro en la primera, segunda y tercera inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ no se inseminaron. Todas las vacas en estro en respuesta a la cuarta

aplicación de PGF_{2α} fueron inseminadas bajo el esquema am-pm y recibieron 2.0 ml de GnRH en el momento de la inseminación artificial.

3.5 Variables evaluadas

Bajo los criterios y formulas propuestas por Abdullah *et al.* (2015) y Cardoso Consentini *et al.* (2021), se calcularon los siguientes parámetros reproductivos:

$$\text{Tasa de estros (\%)} = \frac{\text{Vacas en estro}}{\text{Vacas aptas}} * 100$$

$$\text{Estro (h)} = \frac{\sum \text{de horarios de la presencia del estro}}{\text{Vacas que mostraron estro}}$$

$$\text{Tasa de Servicios (\%)} = \frac{\text{Vacas inseminadas}}{\text{Vacas aptas}} * 100$$

$$\text{Tasa de Concepción (\%)} = \frac{\text{Vacas gestantes}}{\text{Vacas inseminadas}} * 100$$

$$\text{Tasa de preñez (\%)} = \frac{\text{Vacas gestantes}}{\text{Vacas aptas}} * 100$$

Todas las vacas fueron palpadas vía transrectal 45 días después de la inseminación artificial para evaluar el diagnostico de preñez utilizando un ecógrafo (SONOVET 600®, Medison equipado con un transductor de 7.5 - Mhz, Aloka 210, Corometrics Medical Systems, Wallingford, CT).

3.6 Estimación de costos por vaca sincronizada

Con ayuda de la hoja de cálculo de Microsoft Excel y los precios hormonales inyectables en el mercado del estado de Yucatán, México, con precios actualizados al día 08 de enero del 2022 se estimaron los cálculos. Considerando el precio de 10.50 y 21.54 USD en presentaciones de

30 y 50 ml para prostaglandinas (Lutalyse) y GnRH, respectivamente, se hicieron los cálculos por vaca sincronizada para cada tratamiento.

3.7 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva usando el paquete estadístico SAS (2019).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Porcentaje de estros y respuesta del estro (h) en función de la aplicación de la PGF_{2α}

De acuerdo a los resultados obtenidos, la variable porcentaje de estros, no mostró diferencia estadística ($p > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3). Los tratamientos 3 y 4 fueron similares mostrando el 100% de estros, mientras que los tratamientos 1 y 2 fueron menores, manifestando el 92.8 y 83.3%, respectivamente. Por otro lado, la respuesta al estro en horas después de la aplicación de PGF_{2α}, no mostró diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, las vacas en lactancia con $>70 \leq 120$ días abiertos con tres aplicaciones de PGF_{2α} tienden a manifestar el estro 72 h después a la aplicación, seguido de las vacas no lactantes con $>120 \leq 160$ días abiertos bajo el esquema de dos aplicaciones de PGF_{2α}.

Diversos estudios se han dirigido para evaluar el efecto de la PGF_{2α} y su función luteolítica en el ganado bovino y sincronizar el estro (Wiltbank *et al.*, 2015). Al respecto, Martínez *et al.* (2011) reportaron tasas de estros de 61 y 79% en vacas Bramhan (*B. indicus*) en lactancia, mientras que el estro fue manifestado 60 y 54 h, después de la aplicación de la PGF_{2α}. Por otro lado, Ventura-Ríos *et al.* (2021) encontraron 91 y 36% entre 24 y 36 h después de la aplicación de la PGF_{2α} y 9 a 63% entre 37 y 48 h en vacas Cebú x Pardo suizo (*B. indicus* x *B. taurus*), sin cría al pie. Como se ha documentado en trabajos científicos, mientras exista un cuerpo lúteo (CL) funcional, la PGF_{2α} causara regresión en promedio 72 h después a la aplicación (Masello *et al.*, 2019) como se comprobó en el tratamiento 3, sin embargo, en el ganado Cebú (*B. indicus*) el estro es más corto y su comportamiento estral puede ser variable, lo cual dificulta su detección (Barros *et al.*, 2000).

4.2 Tasa de servicios

La tasa de servicios está en función de los animales que respondieron a la aplicación de PGF_{2α}. Todos los animales que mostraron estro fueron inseminados 12 h después de haber iniciado el estro bajo la regla a.m. – p.m. (Dransfield *et al.*, 1998). No se encontró diferencia estadística entre tratamientos ($p > 0.05$), sin embargo, las vacas del tratamiento 3 y 4 mostraron

el 100% de tasa de servicios, comparado con los animales del tratamiento 1 (92.8%) y 2 (83.3%) que mostraron tasas menores (Cuadro 3). En vacas Brahman (*B. indicus*) en lactancia, Uribe-Velásquez *et al.* (2013) reportaron tasas de servicio del 66.7%, mientras que Peralta-Torrez *et al.* (2013) encontraron el 72 y 78% en vacas Cebú sin cría al pie.

4.3 Tasa de concepción

En el Cuadro 3, se muestran los resultados de la tasa de concepción a 45 días después de la inseminación artificial, estadísticamente no hubo diferencia entre tratamientos ($p>0.05$), sin embargo, existe una tendencia numérica a incrementarse la tasa de concepción en animales no lactantes que superan los 120 días abiertos, como sucedió con el tratamiento 2 y 1, quienes mostraron el 100 y 77% de concepción, respectivamente. En vacas Nellore (*B. indicus*) en lactancia, Pitaluga *et al.* (2013) reportaron 50.4% de concepción con protocolos de sincronización de estros que incluyen Progestágenos (P4) + BE + $PGF_{2\alpha}$ + gonadotropina coriónica equina (eCG) + cipionato de estradiol (ECP) y GnRH en el momento de la inseminación artificial. Por otro lado, Baruselli *et al.* (2002) reportaron tasa de preñez del 15, 42.7 y 52% en vacas Brangus sincronizadas con OvSynch, Crestar y CIDR, respectivamente.

4.4 Tasa de preñez

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de la tasa de preñez a 45 días después de la inseminación artificial. No se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p>0.05$), sin embargo, el tratamiento 2 (83.5%) seguido del tratamiento 1 (71.5%), mostraron superioridad a los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento 3 (56%) y 4 (55%) fueron similares en su respuesta, no obstante, estos resultados superan el 54% de preñez. Estudios previos conducidos con vacas Nellore (*B. indicus*) en lactancia, Nogueira *et al.* (2019) reportaron 48.4% de preñez con protocolos de sincronización que incluyen progestagenos + BE + D-cloprostenol + eCG + BE. Por otro lado, Uribe-Velásquez *et al.* (2013) reportaron tasa de

Cuadro 3. Efecto de la PGF_{2α} a intervalos de 14 días en vacas Brangus x Brahman sobre la tasa de servicios, tasa de concepción y tasa de preñez[†].

Tratamientos*	N	Estro (h)	Vacas inseminadas	Vacas preñadas	Vacas vacías	Estro (%)	Tasa de servicios (%)	Tasa de concepción (%)	Tasa de preñez (%)	Valor de P
1	14	54	13	10	3	92.8 (13/14)	92.8 (13/14)	76.9 (10/13)	71.5 (10/14)	(P>0.05)
2	12	60	10	10	0	83.3 (10/12)	83.3 (10/12)	100 (10/10)	83.3 (10/12)	(P>0.05)
3	16	72	16	9	7	100 (16/16)	100 (16/16)	56 (9/16)	56 (9/16)	(P>0.05)
4	9	59	9	5	4	100 (9/9)	100 (9/9)	55 (5/9)	55 (5/9)	(P>0.05)

*T1: vacas no lactantes con ≥ 160 días abiertos con una aplicación de PGF_{2α}; T2: vacas no lactantes con $>120 \leq 160$ días abiertos con dos aplicaciones de PGF_{2α}; T3: vacas en lactancia con $>70 \leq 120$ días abiertos con tres aplicaciones de PGF_{2α}; T4: vacas en lactancia entre $>60 \leq 96$ días abiertos con cuatro aplicaciones de PGF_{2α}. [†]Las aplicaciones de PGF_{2α}, se realizaron con intervalos cada 14 días.

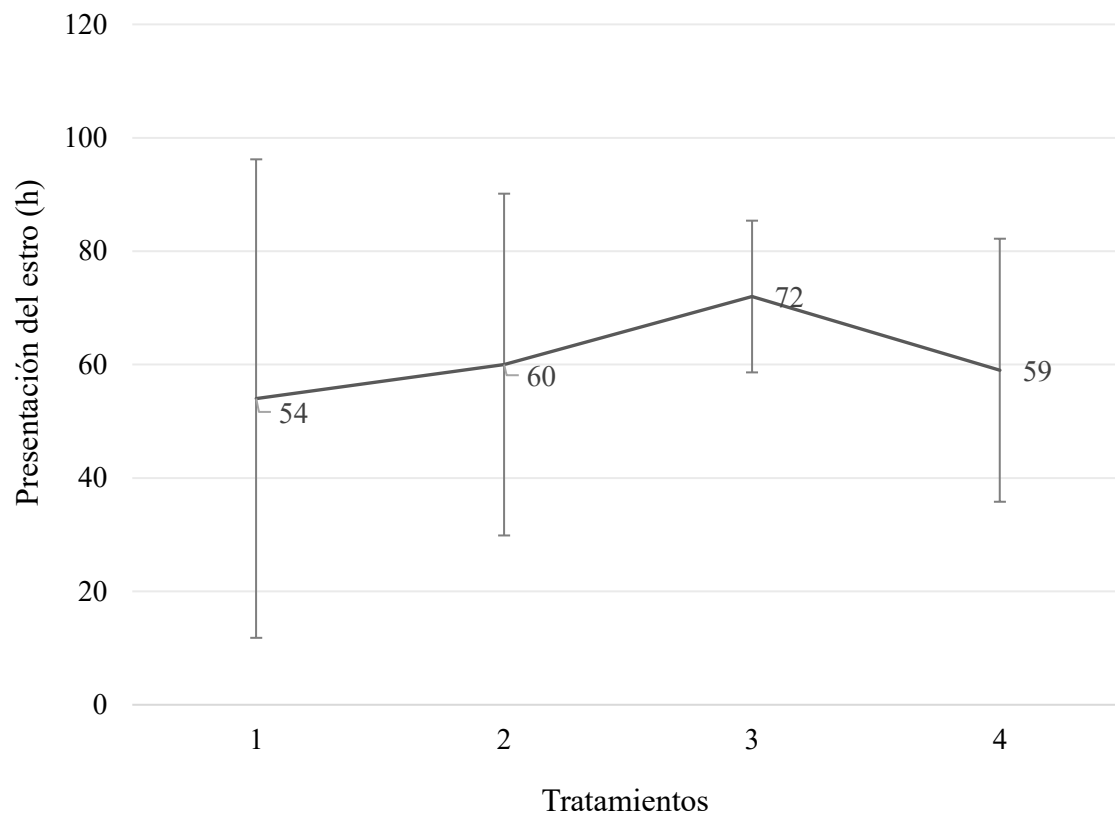


Figura 2. Presentación del estro en vacas Brangus x Brahman a diferentes días posparto tratadas con $PGF_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días.

preñez del 40% en vacas Brahman con cría al pie sincronizadas con varelato de estradiol (VE) + nogestoment (NG) + eCG.

4.5 Condición corporal (CC)

En el Cuadro 4 se muestra la frecuencia de la condición corporal sobre la tasa de concepción, donde las vacas con condición corporal de cuatro puntos fueron superiores en la tasa de concepción (100%), seguido de vacas con condición corporal de siete (75%) y seis (73.6%), superando a vacas con condición de cinco (50%). En vacas *B. indicus* en lactancia con una condición corporal de cuatro, Fernández-Figueroa *et al.* (2017) reportaron 41% de concepción y en vacas con una condición corporal de seis puntos y sin presencia del becerro,

obtuvieron 51%. Por otro lado, Peralta-Torrez *et al.* (2013) reportaron 52% de preñez en vacas Cebú (*B. indicus*) con una condición corporal de cinco puntos sin presencia del becerro.

Cuadro 4. Análisis de frecuencia de la condición corporal sobre la tasa de concepción en vacas Brangus x Brahman con distintos días abiertos usando diferentes aplicaciones de PGF_{2α} †.

Condición corporal	N	Tratamientos*				Preñadas		Vacías	
		1	2	3	4	Frecuencia	%	Frecuencia	%
4	4	1	0	0	3	4	100	0	0
5	20	4	3	2	1	10	50	10	50
6	19	5	4	4	1	14	73.6	5	26.3
7	8	0	3	3	0	6	75	2	25
Total	51	10	10	9	5	34	74.65	17	25.35

*T1: vacas no lactantes con ≥ 160 días abiertos con una aplicación de PGF_{2α}; T2: vacas no lactantes con $>120 \leq 160$ días abiertos con dos aplicaciones de PGF_{2α}; T3: vacas en lactancia con $>70 \leq 120$ días abiertos con tres aplicaciones de PGF_{2α}; T4: vacas en lactancia entre $>60 \leq 96$ días abiertos con cuatro aplicaciones de PGF_{2α}. † Las aplicaciones de PGF_{2α}, se realizaron con intervalos cada 14 días.

4.6 Costos por vaca sincronizada

Los costos por el concepto de las hormonas pueden variar dependiendo del mercado internacional y zona de distribución en México, sin embargo, los costos estimados en este trabajo de investigación pueden fluctuar desde 52.00 hasta 156.0 pesos (M.N.) considerando una tasa de cambio de 19.90 USD (Cuadro 5). Del presente trabajo de investigación, se puede deducir que sincronizar el estro de una vaca con una dosis de PGF_{2α} y una dosis de GnRH puede costar \$ 52.00 pesos o aplicar tres dosis de PGF_{2α} a intervalos de 14 días y una dosis de GnRH en el momento de la inseminación artificial puede costar \$ 121.00 pesos. Todos los tratamientos planteados en este experimento demostraron que se pueden obtener tasas de concepción

superiores al 50% con costos relativamente baratos en el mercado de nuestro país, dado que los tratamientos utilizados no superan los \$ 160.00 pesos por vaca sincronizada y preñada.

Cuadro 5. Estimación de costos por vaca sincronizada con hormonas inyectables de PGF_{2α} y GnRH en vacas Brangus x Brahman en el sureste de Yucatán, México.

Tratamiento	Inyecciones hormonales		Costo por vaca (USD)
	PGF _{2α}	GnRH	
1	1	1	2.61
2	2	1	4.36
3	3	1	6.11
4	4	1	7.86

V. CONCLUSIONES

Las vacas de condición corporal entre seis y siete puntos mostraron porcentajes de concepción superiores al 74%.

La tasa de preñez fue mayor en vacas no lactantes que recibieron dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalos de 14 días.

Las vacas en lactancia entre 60 y 120 días posparto mostraron tasas de preñez superiores al 54%.

La aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalos de 14 días puede ocasionar luteólisis y mejorar la tasa de preñez en vacas Brangus x Brahman a un costo menor de ocho dólares en condiciones tropicales.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdullah, M., Mohanty, T.K., Patbandha, T.K., Bhakat, M., Madkar, A.R., Kumaresan, A. y Mohanty, A.K. 2015. Pregnancy diagnosis-positive rate and conception rate as indicator of farm reproductive performance. *Indian J. Anim. Res.* 51(1): 170–174.
<https://doi.org/10.5958/0976-0555.2015.00155.7>
- Absalón-Medina, V.A., Blake, R.W., Fox, D.G., Juárez-Lagunes, F.I., Nicholson, C.F., Canudas-Lara, E.G. y Rueda-Maldonado, B.L. 2012. Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in Central Coastal Veracruz, Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 44(6): 1131–1142. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0049-1>
- Aranda-Avila, I., Magaña-Monforte, J.G., y Segura-Correa, J.C. 2010. Effects of breed type and age at first calving on length of productive life in a cow-calf system in Southeastern Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 42(8): 1737–1741. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9629-8>
- Avelino, C.C.E., Avelino, C.C.E., y Macagnan, T.C.R. 2020. Nitrogen requirement of *Brachiaria* hybrid cv. Ipyporã. *Bol. Ind. Anim. Nova Odessa.* 77: 1-10.
<https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1467>
- Ayres, H., Ferreira, R.M., Cunha, A.P., Araujo, R.R., y Wiltbank, M.C. 2013. Double-ovsynch in high-producing dairy cows: Effects on progesterone concentrations and ovulation to GnRH treatments. *Theriogenology.* 79(1): 159-164.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.10.001>
- Báez, G. y Grajales, H. 2009. Anestro posparto en ganado bovino en el trópico. *Rev. MVZ Córdoba.* 14(3): 1867-1875. <https://doi.org/10.21897/rmvz.347>
- Baptistella, J.L.C., López, de A.S.A., Favarin, J.L. y Mazzafera, P. 2020. *Urochloa* in Tropical Agroecosystems. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:1-17.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>
- Barreiros, T.R.R., Blaschi, W., Santos, G.M.G., Morotti, F., Andrade, E.R., Baruselli, P.S. y Seneda, M.M. 2014. Dynamics of follicular growth and progesterone concentrations in cyclic and anestrous suckling Nelore cows (*Bos indicus*) treated with progesterone, equine chorionic gonadotropin, or temporary calf removal. *Theriogenology.* 81(5): 651-656. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.12.008>

- Barros, M.C., Moreira, P.B.M., Figueiredo, A.R., Texeira, B.A. y Trinca, L.A. 2000. Synchronization of ovulation in beef cows (*Bos indicus*) using GnRH, PGF_{2α}, and estradiol benzoate. *Theriogenology*. 53(5): 1121-1134.
[https://doi.org/10.1016/S0093-691X.\(00\)00257-0](https://doi.org/10.1016/S0093-691X.(00)00257-0)
- Baruselli, P.S., Madureira, E.H., y Marques, M.O. 2001. Programas de IA a tiempo fijo en *Bos indicus*. Resúmenes. IV Simposio Internacional de Reproducción Animal, Huerta Grande, Córdoba. 95-116.
- Baruselli, P.S., Reis, E.L., Marques, M.O., Nasser, L.F. y Bó, G.A. 2004. The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Anim. Reprod. Sci.* 82: 479-486.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.025>
- Baruselli, P.S., Marques, M.O., Carvalho, N.A.T., Madureira, E.H., y Campos Filho, E.P. 2002. Efeito de diferentes protocolos de inseminação artificial em tempo fixo na eficiência reprodutiva de vacas de corte lactantes. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. 26(3): 218-221.
- Baruselli, P.S., Marques, M.O., Reis, E.L. y Bó, G.A. 2003. Tratamientos hormonales para mejorar la performance reproductiva de vacas de cría en anestro en condiciones tropicales. Resúmenes V Simposio Internacional de Reproducción Animal. Huerta Grande, Córdoba. 103-116.
- Bastos, M.R., Mattos, M.C.C., Meschiatti, M.A.P., Surjus, R.S., Guardieiro, M.M., Mourão, G.B., Pires, A.V., Pedroso, A.M., Santos, F.A.P y Sartori, R. 2010. Ovarian function and circulating hormones in nonlactating Nelore versus Holstein cows. *Acta Sci. Vet.* 38:776.
- Bello, N.M., Steibel, J.P. y Pursley, J.R. 2006. Optimizing ovulation to first GnRH improved outcomes to each hormonal injection of Ovsynch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89(9): 3413-3424. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72378-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72378-5)
- Bó, G.A., Cutaia, L. y Tribulo, R. 2002. Tratamientos Hormonales Para Inseminación Artificial a Tiempo Fijo en Bovinos para Carne: algunas experiencias realizadas en Argentina. Primera parte. *Taurus*. 4(14): 10-21.
- Bó, G.A., Baruselli, P.S., Moreno, D., Cutaia, L., Caccia, M., Tribulo, R., Tribulo, H. y Mapletoft, R.J., 2002. The control of follicular wave development for self-

- appointed embryo transfer programs in cattle. *Theriogenology*. 57(1): 53–72. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00657-4](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00657-4)
- Bó, G.A., Martínez, M., Nasser, L.F., Caccia, M., Tribulo, H. y Mapletoft, R.J., 1993b. Follicular dynamics in *Bos indicus* and *Bos taurus* beef cattle under pasture conditions in Argentina. In: Proceedings of the 10th Congreso Brasileiro de Reproducao Animal. Vol. 2. Campo Grande, p. 221.
- Bó, G.A., Baruselli P.S. y Martínez, M.F. 2003. Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Anim Reprod Sci*. 78(3-4):307-326. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(03\)00097-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(03)00097-6)
- Boddey, R.M., Macedo, R., Tarré, R.M., Ferreira, E., De Oliveira, O.C., Rezende, C.D.P. y Urquiaga, S. 2004. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agric Ecosyst Environ*. 103(2): 389-403. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.010>
- Brusveen, D.J., Cunha, A.P., Silva, C.D., Cunha, P.M., Sterry, R.A., Silva, E.P.B., Guenther, J.N. y Wiltbank, M.C. 2008. Altering the time of the second gonadotropin-releasing hormone injection and artificial insemination (AI) during Ovsynch affects pregnancies per AI in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci*. 91(3):1044-1052. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0409>
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Ortega-Jiménez, E., Hernández-Garay, A., Vaquera-Huerta, H., Escalante-Estrada, J.A. y Honorato-Salazar, J.A. 2019. Análisis de crecimiento del pasto Toledo *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster en clima cálido subhúmedo. *Agroproductividad*. 12(8): 3-9. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1443>
- Cardoso Consentini, C.E., Wiltbank, M.C., y Sartori, R. 2021. Factors That Optimize Reproductive Efficiency in Dairy Herds with an Emphasis on Timed Artificial Insemination Programs. *Animals*. 11(2): 301-330. <https://doi.org/10.3390/ani11020301>
- Cavaliere, J., Rubio, I., Kinder, J.E., Entwistle, K.W., y Fitzpatrick, L.A., 1997. Synchronization of estrus and ovulation and associated endocrine changes in *Bos indicus* cows. *Theriogenology*. 47(4): 801–814. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00036-8)

- Cooke, F.R., Daigle, L.C., Moriel, P., Smith, B.S., Tedeschi, O.L. y Vendramini, J.M.B. 2020. Cattle adapted to tropical and subtropical environments: social, nutritional, and carcass quality considerations. *J. Anim. Sci.* 98(2): 1-20. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa014>
- Cruz, H.A., Hernández, G.A., Vaquera, H.H., Chay, C.A., Enríquez, Q.J. y Ramírez, V.S. 2017. Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferentes frecuencias e intensidad de pastoreo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 8(1): 101-109. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4310>
- D'Occhio, M.J., Neish, A. y Broadhurst, L. 1990. Differences in gonadotrophin secretion post partum between Zebu and European breed cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 22(4): 311–317. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(90\)90023-9](https://doi.org/10.1016/0378-4320(90)90023-9)
- Diskin, M.G y Kenny, D.A. 2016. Managing the reproductive performance of beef cows. *Theriogenology.* 86(1): 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052>
- Dobson, H. y Smith, R.F., 2000. What is stress, and how does it affects reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 60–61: 743–752. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00080-4)
- Estrada, M.M., Sotelo, M.D.P., Maza, O.R.E., y Cruz, T.J.A. 2019. Uso de suplementos para bovinos productores de carne en pastoreo en el trópico de México. *Rev. Latinoam. Educ. y Estud. Intercult.* 3(3): 91-99.
- Fernández-Figueroa, J.A., Arieta-Román, R.J., Tadeo-Cruz, P., González-Aynés, J.F. y Ramírez-Valencia, O. 2017. Porcentaje de Concepción en Vacas *Bos indicus* Utilizando Sincronización de Estro e Inseminación Artificial a Tiempo fijo (IATF). *REDVET. Rev. electrón. Vet.* 18(11): 1-7.
- Figueiredo, R.A., Barros, C.M., Pinheiro, O.L. y Soler, J.M.P. 1997. Ovarian follicular dynamics in Nelore Breed (*Bos indicus*). *Theriogenology.* 47(8): 1489–1505. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00156-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00156-8)
- Flores, S. y Espejel, I. 1994. Etnoflora yucatanense, fascículo 3, Tipos de la vegetación de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. 135 p.
- Fuentes, J.R.B., Gutiérrez, E.P., y Hidalgo, C.S.G. 1998. Comportamiento reproductivo de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* bajo programas de inseminación artificial a estro sincronizado y natural en condiciones del trópico seco de Costa Rica. *Vet. Mex.* 29(1): 67-73.

- Galina, C.S. y Arthur, G.H. 1990. Review on cattle reproduction in the tropics. Part 4. Oestrus cycles. *Anim. Breed.* 58: 697–707.
- Garay, J.R., Joaquín, S., Zárate, P., Ibarra, M.A., Martínez, J.C., González, R.P. y Cienfuegos, E.G. 2017. Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. *Trop. Grassl.* 5(2): 66-76.
[https://doi.org/10.17138/tgft\(5\)66-76](https://doi.org/10.17138/tgft(5)66-76)
- Garay, M.J.R., Estrada, D.B., Bautista, M.Y., Bernal-Flores, A., Mendoza, P.S.I., Martínez, G.J.C., Sosa, M.E. y Joaquín, C.S. 2020. Forage yield and quality of buffel H-17 and *Urochloa* hybrids at different regrowth ages under semi-arid conditions. *Grassl. Sci.* 66(4): 277–284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>
- García, V. X., Joaquín, T.B.M., Ramos, J.J.A. y Aranda, M.I.E. 2018. Evaluación del precorte en el rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea cv. Mombaza. En: Memorias del Séptimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas Chapingo 2018. Celebrado el 20 y 21 de septiembre de 2018. pp. 32-44.
- Geary, T.W., Salverson, R.R. y Whittier, J.C. 2001. Synchronization of ovulation using GnRH or hCG with the CO-synch protocol in suckled beef cows. *J. Anim. Sci.* 79(10): 2536–2541. <https://doi.org/10.2527/2001.79102536x>
- Gimenes, L.U., Sá Filho, M.F., Carvalho, N.A., TorresJúnior, J.R., Souza, A.H. y Madureira, E.H. 2008. Follicle deviation and ovulatory capacity in *Bos indicus* heifers. *Theriogenology.* 69(7): 852–858. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.01.001>
- Ginther, O.J., Knopf, L. y Kastelic, J.P. 1989. Temporal associations among ovarian events in cattle during oestrous cycles with two or three follicular waves. *J. Reprod. Fertil.* 87(1): 223-230. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0870223>
- Giordano, J.O., Thomas, M.J., Catucuamba, G., Curler, M.D., Wijma, R., Stangaferro, M.L. y Masello, M. 2016. Effect of extending the interval from presynch to initiation of ovsynch in a presynch-ovsynch protocol on fertility of timed artificial insemination services in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99(1): 746-757.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052>
- Hernández, A.F.V., Arevalo, D.C.S., y Romero, N.E.B. 2017. Ciclo reproductivo y dinámica folicular en ganado *Bos indicus*. *Facu. Cienc. Agrop.* 9(2): 62-68.
<http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/fagropec/article/view/1207>

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2000. Consultas a la base de datos nacional de información demográfica por localidad. México. INEGI. www.inegi.gob.mx
- Inyang, U., Vendramini, J.M.B., Sollenberger, B.J.M., Silveira, E.L., Sellers, M.L.A., Adesogan, B., Paiva, A.L. y Lunpha, A. 2010b. Harvest frequency and stubble height affects herbage accumulation, nutritive value, and persistence of ‘Mulato II’ brachiariagrass. *Forage and Grazinglands*. 8(1): 1-8. <https://doi.org/10.1094/FG2010-0923-01-RS>
- Gizaw, S., Tesfaye, Y., Mekuriaw, Z., Tadesse, M., Hoekstra, D., Gebremedhin, B. y Tegegne, A. 2016. Sincronización de estros para la entrega acelerada de genética lechera mejorada en Etiopía: resultados de la investigación de acción y las intervenciones de desarrollo. Documento de trabajo LIVES 12. Nairobi, Kenia: ILRI. <https://hdl.handle.net/10568/71126>
- Kastelic, J.P. y Ginther, O.J. 1991. Factors affecting the origin of the ovulatory follicle in heifers with induced luteolysis. *Anim. Reprod. Sci.* 26(1-2): 13–24. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(91\)90062-5](https://doi.org/10.1016/0378-4320(91)90062-5)
- Lamb, G.C., Dahlen, C.R., Larson, J.E., Marquezini, G., y Stevenson, J.S. 2010. Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 88(suppl13): 181-192. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2349>
- Landaeta-Hernandez, A.J., Yelich, J.V., Lemaster, J.W., Tran, T., Fields, M.J., Chase Jr. C.C., Rae, D.O. y Chemnoweth, P.J. 2002. Environmental, genetic and social factors affecting the expression of estrus in beef cows. *Theriogenology*. 57(4): 1357–1370. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(02\)00635-0](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(02)00635-0)
- Madhuri, G., Rajashri, M. y Kesharwani, S. 2017. Post-partum anoestrus in dairy cows: a review. *Int J Environ Sci Technol*. 6(2): 1447-1452.
- Magaña-Monforte, J.G., Ríos-Arjona, G. y Martínez-González, J.C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14(3): 105-114.
- Martínez Castro, C.J., Cotera Rivera, J. y Abad Zavaleta, J. 2012. Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. *Rev. Mex. Agroneg.* 30: 816-824.

- Martínez, G., Pérez, P., Torres, G., Hernández, O., Martínez-Tinajero, J.J., Montañez-Valdez, O.D., Ortega-Cerrilla, M.E. y Rojo-Rubio, R. 2011. Effect on pregnancy rate of a previously used progesterone-releasing device and fixed time artificial insemination in Brahman cows. *J. Anim Vet Adv.* 10(3): 307-310.
<https://doi.org/10.3923/javaa.2011.307.310>
- Martínez, V.P., Flores, J.S., y Pérez, R.M. 2002. Función de producción de la ganadería de doble propósito de la zona oriente del estado de Yucatán, México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 40(2): 187-192.
<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1302>
- Masello, M., Scarbolo, M., Schneck, V.M., Perez, M.M., Schillkowsky, M.E., Sitko, M.E., Hernandez, S.M., Cabrera, M.E., Rossi, M.R. y J.O. Giordano. 2019. Intravaginal instillation of prostaglandin F_{2α} was as effective as intramuscular injection for induction of luteal regression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103(3): 2743–2755.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17589>
- McDowell, L.R. y Arthington, J.D. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- Medinilla, S.L. 2012. Crecimiento, productividad y calidad de *Megathyrus maximus* bajo cobertura arbórea de *Gliricidia sepium*. [Tesis de MSc]. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). 115.
- Melo, L., Monteiro, P., Surjus, R., Drum, J., Wiltbank, M. y Sartori, R. 2016. Progesterone-based fixed-time artificial insemination protocols for dairy cows: Gonadotropin-releasing hormone versus estradiol benzoate at initiation and estradiol cypionate versus estradiol benzoate at the end. *J. Dairy Sci.* 99(11): 9227–9237.
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11220>
- Membrive, C.M.B. 2000. Estudo da sincronização das ondas foliculares e das características de estros, por radio telemetria, em novilhas cruzadas (*Bos indicus* × *Bos taurus*) tratadas com acetato de melengestrol e prostaglandina associados a hCG, GnRH ou 17β estradiol + progesterona. Tesis de Maestría. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Mijares-López, H., Hernández-Mendo, O., Mendoza-Martínez, G., Vargas-Villamil, L. y Aranda-Ibáñez, E. 2012. Cambio de peso de toretes en pastoreo en el trópico: respuesta a suplementación con bloque multinutricional. *Universidad y ciencia*. 28(1): 39-49. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018629792012000100004&lng=es&tlng=es
- Mizuta, K., 2003. Estudo comparativo dos aspectos comportamentais do estro e dos teores plasmáticos de LH, FSH, progesterona e estradiol que precedem a ovulação em fêmeas bovinas Nelore (*Bos taurus indicus*), Angus (*Bos taurus taurus*) e Nelore × Angus (*Bos taurus indicus* × *Bos taurus taurus*), PhD Thesis. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Molina, I.C., Donneys, G., Montoya, S., Rivera, J.E., Villegas, G., Chará, J. y Barahona, R. 2015. The inclusion of *Leucaena leucocephala* reduces the methane production in lucerne heifers receiving a *Cynodon plectostachyus* and *Megathyrus maximus* diet. *Livest. Res Rural. Dev.* 27(5).
- Mollo, M.R., Rumpf, R., Martins, A.C., Mattos, M.C.C., López, Jr.G., Carrijo, L.H.D. y Sartori, R. 2007. Ovarian function in Nelore heifers under low or high feed intake. *Acta Sci. Vet.* 35: 958.
- Munari, E.C., Pietroski, M., De Mello, P.R., Silva, C.C.N, y Caione, G. 2017. Effect of nitrogen fertilization on productivity and quality of Mombasa forage (*Megathyrus maximum* cv. Mombasa). *Acta Agron.* 66(1): 42-48. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n1.53420>
- Murphy, M.G., Boland, M.P. y Roche, J.F. 1990. Pattern of follicular growth and resumption of ovarian activity in post-partum beef suckled cows. *J. Reprod. Fertil.* 90(2): 523–533. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0900523>
- Nogueira, E., Silva, M.R., Silva, J.C.B., Abreu, U.P.G., Anache, N.A., Silva, K.C., Cardoso, C.J.T., Sutovsky, P. y Rodrigues, W.B. 2019. Timed artificial insemination plus heat I: effect of estrus expression scores on pregnancy of cows subjected to progesterone-estradiol-based protocols. *Animal. Rev Anim Biosci.* 13(10): 2305-2312. <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731119000442>
- Odde, K.G., 1990. A review of synchronization of estrus in postpartum cattle. *J. Anim. Sci.* 68(3): 817–830. <https://doi.org/10.2527/1990.683817>

- Orantes, Z.M.A., Vilaboa, A.J., Ortega, J.E., y Córdova, A.V. 2010. Comportamiento de los comercializadores de ganado bovino en la región centro del estado de Chiapas. *Revista Quehacer Científico en Chiapas* 1(9): 51-56.
- Patiño, P.R.M., Gómez, S.R. y Navarro, M.O.A. 2018. Calidad nutricional de Mombasa y Tanzania (*Megathyrus maximus*, Jacq.) manejados a diferentes frecuencias y alturas de corte en Sucre, Colombia. *Rev. CES Med Vet Zootec.* 13(1): 17-30.
<https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.1.2>
- Patterson, D.J., Kojima, F.N. y Smith, M.F. 2003. A review of methods to synchronize estrus in replacement beef heifers and postpartum cows. *J. Anim. Sci.* 81(14): 166–177.
https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E166x
- Peralta-Torres, J.A., Aké-López, J.R., Centurión-Castro, F.G. y Magaña-Monforte, J.G. 2010. Comparison of estradiol cypionate vs estradiol benzoate on estrus response and pregnancy rate in synchronisation protocols with CIDR in *Bos indicus* heifers and cows. *Universidad y ciencia.* 26(2), 163-169. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.466.470>
- Pinheiro, O.L., Barros, C.M., Figueredo, R.A., Valle, E.R., Encarnação, R.O. y Padovani, C.R. 1998. Estrous behavior and the estrus-to-ovulation interval in Nelore cattle (*Bos indicus*) with natural estrus or estrus induced with prostaglandin F_{2α} or norgestomet and estradiol valerate. *Theriogenology* 49(3): 667–681.
[https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(98\)00017-x](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(98)00017-x)
- Pitaluga, F.S.C.P., Sá Filho, F.M., Sales, S.N.J., Baruselli, S.P. y L. Vicenti. 2013. Manipulation of the proestrous by exogenous gonadotropin and estradiol during a timed artificial insemination protocol in suckled *Bos indicus* beef cows. *Livest. Sci.* 154: 229-234.
<https://doi.org/10.1071/RDv25n1Ab17>
- Pursley, J.R., Mee, M.O. y Wiltbank, M.C. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂ and GnRH. *Theriogenology.* 44(7): 915–923. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(95\)00279-h](https://doi.org/10.1016/0093-691x(95)00279-h)
- Rhodes, F.M., De'ath, G. y Entwistle, K.W. 1995a. Animal and temporal effects on ovarian follicular dynamics in Brahman heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 38(4): 265–277.
[https://doi.org/10.1016/0378-4320\(94\)01375-V](https://doi.org/10.1016/0378-4320(94)01375-V)
- Rivas R.L. 1992. El sistema ganadero de doble propósito en América Tropical: Evolución, perspectivas y oportunidades. In: Trabajo presentado en el Simposium Internacional

sobre "Alternativas y Estrategias en Producción Animal", organizado por el Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, México, m m abril 6-9, 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 37 p. <https://hdl.handle.net/10568/56218>

- Robledo Padilla, R. 2018. Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del apec. in: teoría, impactos externos y políticas públicas para el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-02-9998-8, AMECIDER: 978-607-96649-5-4. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3744>
- Rocha, J.L. 2000. Sincronização hormonal da onda folicular e do estro em novilhas de corte mestiças monitoradas por radio telemetría. Tesis Doctoral. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rubio, M. de la S., Braña, D., Méndez, D. y Delgado, E. 2013. Sistemas de producción y calidad de carne bovina. D.F., México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Sá Filho, M.F., Ayres, H., Ferreira, R.M., Marques, M.O., Reis, E.L., Silva, R.C., Rodrigues, C.A., Madureira, E.H., Bó, G.A. y Baruselli, P.S. 2010a. Equine Chorionic Gonadotropin and Gonadotropin Releasing Hormone Improve Fertility in a Norgestomet-Based Timed Artificial Insemination Protocol in Suckled Nelore (*Bos indicus*) Cows. *Theriogenology*. 73(5): 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.11.004>
- Sá Filho, M.F., Crespilho, A.M., Santos, J.E.P., Perry, G.A. y Baruselli, P.S. 2010b. Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. *Anim. Reprod. Sci.* 120(1-4): 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.03.007>
- Sá Filho, O.J., Meneghetti, M., Pérez, R., Lamb, G. y Vasconcelos, J.L.M. 2009. Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows. II. Strategies and factors affecting fertility. *Theriogenology*. 72(2): 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.02.008>

- SAS, Institute. 2019. SAS/STAT User's Guide. Release 9.3. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sartori, R., Haughian, J.M., Shaver, R.D., Rosa, G.J.M. y Wiltbank, M.C. 2004. Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. *J. Dairy Sci.* 87(4): 905-920.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73235-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73235-X)
- Segerson, E.C., Hansen, T.R., Libby, D.W., Randel, R.D. y Getz, W.R. 1984. Ovarian and uterine morphology and function in Angus and Brahman cows. *J. Anim Sci.* 59(4): 1026-1046. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5941026x>
- SIAP-SAGARPA. 2017. Atlas Agroalimentario 2017. <https://www.gob.mx/siap/prensa/atlas-agroalimentario-2017>. [Accesado el 15 de diciembre del 2021].
- SIAP-SAGARPA. 2013. Panorama de la lechería en México 2013.
<https://docplayer.es/6097003-Panorama-de-la-lecheria-en-mexico-octubre-diciembre-2013.html> [Accesado el 15 de diciembre del 2021].
- Smith, M.F., Pohler, K.G, Perry., G.A. y Patterson, D. 2012. Factores fisiológicos que afectan la tasa de preñez a la inseminación artificial en bovinos de carne. Actas, Estrategias Reproductivas Aplicadas en Bovinos de Carne. 3 y 4 de diciembre, Sioux Falls, SD.
- Souza, A.H., Ayres, H., Ferreira, R.M. y Wiltbank, M.C. 2008. A new presynchronization system (Double-ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology.* 70(2): 208-215.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.03.014>
- Stevenson, J.S., Pulley, S.L. y Mellieon, H.I. 2012. Prostaglandin F₂ alpha and gonadotropin-releasing hormone administration improve progesterone status, luteal number, and proportion of ovular and anovular dairy cows with corpora lutea before a timed artificial insemination program. *J. Dairy Sci.* 95(4): 1831-1844. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4767>
- Thatcher, W.W., Moreira, F., Santos, J.E.P., Mattos, R.C., Lopez, F.L., Pancarci, S.M. y Risco, C.A. 2001. Effects of hormonal treatments on reproductive performance and embryo production. *Theriogenology* 55(1): 75-90.
[https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(00\)00447-7](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(00)00447-7)
- Uribe-Velásquez, L., Correa-Orozco, A., Cuartas-Betancurth, L., Villamizar-Ramirez, D. y Ángel-Botero, S. 2013. Evaluación de implantes de norgestomet reutilizados en

- protocolos de sincronización del estro en vacas Brahman. Rev. MVZ Córdoba. 18(1): 3336-3345.
- Vendramini, B.J.M., Adesogan, A.T., Silveira, M.L.A., Sollenberger, E.L., Queiroz, O.C. y Anderson, W.E. 2010. Nutritive value and fermentation parameters of warm-season grass silage. Prof. Anim. Sci. 26(2): 193-200.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30580-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30580-5)
- Vendramini, B.M.J. y Moriel, P. 2018. Forage management and concentrate supplementation effects on performance of beef calves. Anim. Prod. Sci. 58(8): 1399-1403.
<https://doi.org/10.1071/AN17797>
- Ventura-Ríos, J., Lara-Bueno, A., Carrillo-López, P., Álvarez-Vázquez, P., Cigarroa-Vázquez, F.A. y Encina-Domínguez, J.A. 2021. Fertility in Cebú × Brown Swiss cows treated with prostaglandins, progesterone and eCG. Agro Productividad, 14(2): 9-13.
<https://doi.org/10.32854/agrop.v14i2.1971>
- Viana, J.H.M., Ferreira, A.M., Sá, W.F. y Camargo, L.S.A. 2000. Follicular dynamics in zebu cattle. Anim Sci. Pesqui. Agropecu. Bras. 35(12): 2501-2509.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200021>
- Vilaboa Arroniz, J. y Díaz Rivera, P. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootec. Trop. 27(4): 427-436.
- Wettemann, R.P., Lents, C.A., Ciccioli, N.H., White, F.J. y Rubio, I. 2003. Nutritional and suckling- mediated anovulation in beef cows. J. Anim. Sci. 81(14): (Suppl.2): 48-59.
https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E48x
- Williams, G.L., Gazal, O.S., Guzman Vega, G.A. y Stanko, R.L. 1996. Mechanisms regulatin suckling-mediated anovulation in the cow. Anim. Reprod. Sci. 42(1-4): 289-297.
[https://doi.org/10.1016/0378-4320\(96\)01531-X](https://doi.org/10.1016/0378-4320(96)01531-X)
- Wiltbank, C.M., Baez, M.G., Cochrane, F., Barletta, V.R., Trayford, R.Ch. y R.T. Joseph. 2015. Effect of a second treatment with prostaglandin F_{2α} during the ovsynch protocol on luteolysis and pregnancy in dairy cows. J. Dairy Sci. 98(12): 8644–8654.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9353>
- Wiltbank, M.C. y Pursley, J.R. 2014. The cow as an induced ovulator: Timed AI after synchronization of ovulation. Theriogenology. 81(1): 170-185.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.017>

Wiltbank, M.C., Gumen, A. y Sartori, R. 2002. Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. *Theriogenology*. 57(1): 21–52.

[https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(01\)00656-2](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(01)00656-2)

Yu, G.M., Wu, Y., Wang, X.L., Zhao, S., Maeda, T. y Zeng, S.M. 2018. Evaluación de tres protocolos hormonales para vacas lactantes anovulatorias bajo regulaciones que restringen el uso de compuestos estrogénicos. *J. Anim. Sci.* 89(4): 640-647.

<https://doi.org/10.1111/asj.12953>

Zeitoun, M.M., Rodriguez, H.F. y Randel, R.D. 1996. Effect of season on ovarian follicular dynamics in Brahman cows. *Theriogenology*. 45(8): 577-1581.

[https://doi.org/10.1016/0093-691X\(96\)00126-4](https://doi.org/10.1016/0093-691X(96)00126-4)

VII. ANEXOS

Esquema de los protocolos de sincronización de estros utilizados en el trabajo experimental.

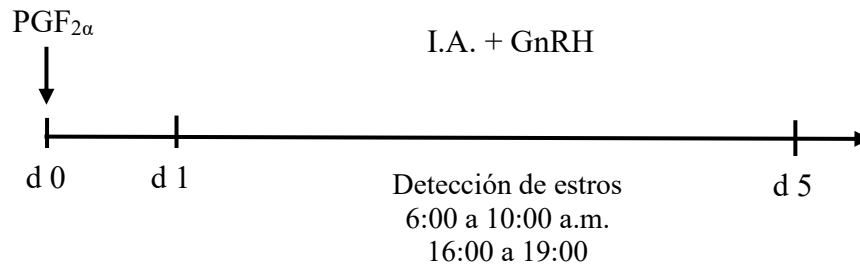


Figura 3. Aplicación de una sola dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas no lactantes con ≥ 160 días abiertos.

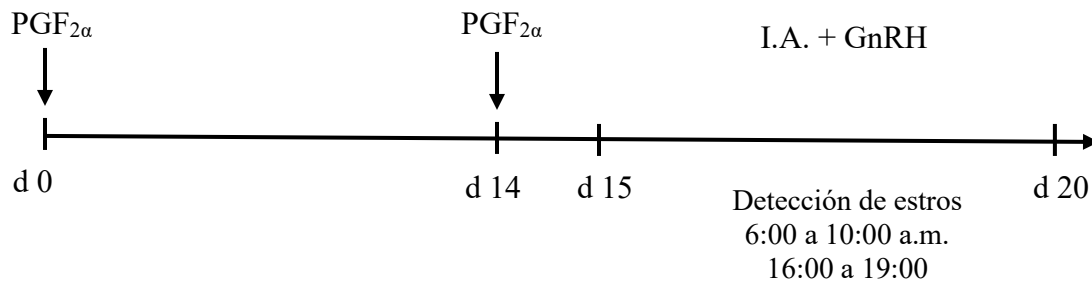


Figura 4. Aplicación de dos dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas no lactantes con $>120 \leq 160$ días abiertos.

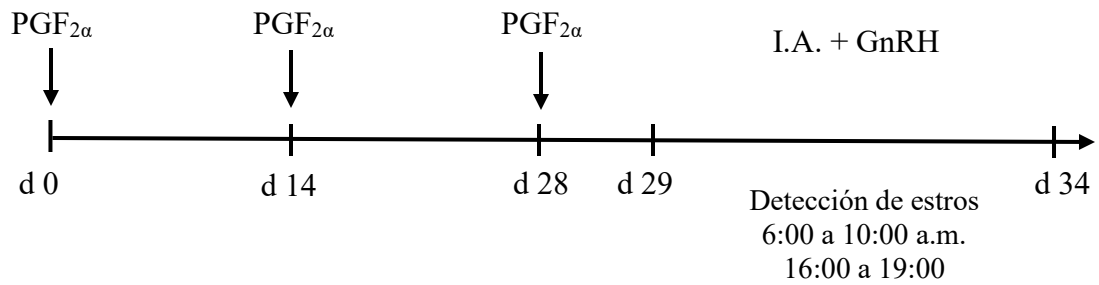


Figura 5. Aplicación de tres dosis de $PGF_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas en lactancia con $>70 \leq 120$ días abiertos.

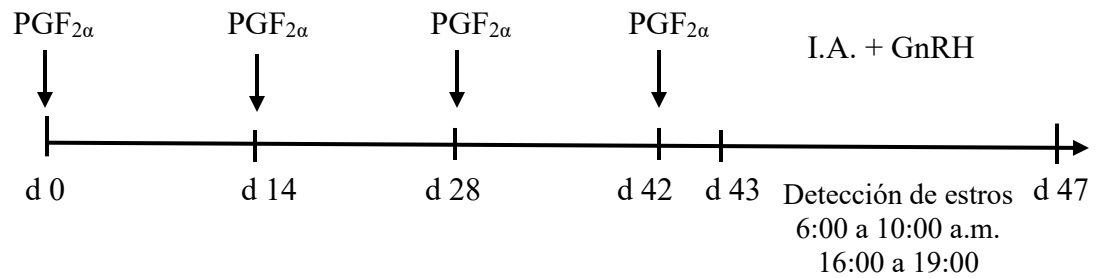


Figura 6. Aplicación de cuatro dosis de $PGF_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días y una sola dosis de GnRH al momento de la inseminación artificial en vacas Brangus x Brahman en vacas en lactancia con $>60 \leq 96$ días abiertos.