

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Condición corporal y tasa de fertilidad en vacas Charolais tratadas con PGF2 α y
GnRH

Por:

IVANA GUADALUPE ROBLES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Condición corporal y tasa de fertilidad en vacas Charolais tratadas con PGF2 α y GnRH

POR:


IVANA GUADALUPE ROBLES

Tesis

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


INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Joel Ventura Ríos

Director




Dra. Raquel Olivas Salazar

Codirector



M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos

Asesor



Dr. Fernando Ruíz Zarate

Asesor



M.C. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencias



Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2024

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, marzo de 2024

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación “Condición corporal y tasa de fertilidad en vacas Charoláis tratadas con PGF2 α 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 consiente 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

Ivana Robles

Ivana Guadalupe Robles

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme alcanzar esta etapa tan significativa en mi vida, por permitirme culminar mi carrera profesional y por darme la fortaleza y resiliencia necesarias para lograr mis objetivos. Agradezco su constante presencia a lo largo de estos años y por protegerme en esta travesía que hoy culmina.

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, mi ALMA TERRA MATER por mi formación académica, ser mi segundo hogar durante mi carrera profesional y por todo lo que me brindo.

Al Dr. Joel Ventura Ríos por haberme dado la oportunidad y confianza de realizar un trabajo de investigación, por cada uno de sus consejos y conocimientos compartidos en el transcurso de este proyecto. Por brindarme herramientas que me permitirán desarrollarme en el ámbito profesional e inculcarme el interés por la reproducción animal.

A la Dra. Raquel Olivas Salazar y M.C. Fidel Peña Ramos, por su colaboración y apoyo en la revisión del presente manuscrito, que con sus acertadas observaciones permitieron enriquecer el presente documento.

A mis tías: Julia M. Robles, gracias por ayudarme a presentar mi examen de admisión a la universidad y por cada acción de apoyo a lo largo de estos años. A Ma. De Jesús Robles, Ma. Del Pilar Robles y Ma. Concepción Robles, gracias por sus consejos y su presencia durante esta etapa.

A mis amistades de la universidad, fueron una gran fuente de apoyo a lo largo de esta etapa, gracias por hacer memorables estos años.

Con cariño a Jennifer Luciano Hdz. Por haberme apoyado de todas las maneras en que se apoya a quien se quiere y brindarme su amistad incondicional.

A mi amiga Paulina Núñez, por ser mi compañera a lo largo de estos años, darme motivación para culminar mi carrera universitaria y sobre todo por brindarme un cariño que me hizo sentir en casa.

DEDICATORIA

A mi compañera de vida, mi madre María Guadalupe Robles Simental con todo mi amor y agradecimiento por una vida de sacrificio y esfuerzo, por guiar mis pasos en cada etapa de mi vida, brindarme su apoyo incondicional en mis momentos difíciles, por confiar en mí y permitirme irme lejos de casa para emprender mi sueño, por darme la oportunidad de formarme como profesionista. Sobre todo, por su gran trabajo como madre al darme amor, dedicación, esperanza y confianza en mí misma, gracias a ello he encontrado la fuerza para seguir adelante, eres mi más grande inspiración, admiro la maravillosa persona que eres. Este logro es de ambas, te amo.

A mi abuelita Enedina Simental Elizalde, por ser una persona tan importante en mi vida y mi segunda madre, por acompañarme, guiarme, y brindarme su cariño incondicional, sus palabras de aliento y cada uno de los momentos compartidos, tome fuerza y motivación de su persona cada día, mi admiración infinita por ser una persona fuerte en toda la extensión de la palabra.

A mi abuelo Jacobo Robles Chávez, gracias por guiarme y ser mi figura paterna desde pequeña, enseñarme a trabajar y formarme como ser humano, por ser un ejemplo a seguir de esfuerzo, trabajo y resiliencia en la vida. Agradezco regaños y lecciones que me han llevado a corregir muchos defectos en mi persona. Su arduo trabajo contribuyó a culminar mi carrera profesional. Gracias por darme apoyo a su manera.

A mi hermano Raúl Adair Huerta Robles, por ser una fuente de motivación para progresar y vencer desafíos. Siempre estaré para ti para cuidarte protegerte y quererte.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 30 de septiembre del 2000 en Vicente Guerrero, Durango, México.

2015-2018 Estudios de preparatoria, Centro de bachillerato tecnológico industrial y de servicios #109, Villa Unión, Durango México.

Enero- Mayo 2023 Prácticas profesionales. Grupo Gusi SPR de RL de CV. Tamuin, San Luis Potosí, México

2018-2023 Estudios de Licenciatura. División de Ciencia Animal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, México.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	vi
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos particulares	2
1.2 HIPÓTESIS	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Situación actual de la ganadería bovina para carne en México	3
2.2 Alimentación y manejo del ganado en condiciones de pastizales.....	4
2.3 Valor nutricional de los forrajes en agostaderos.....	5
2.4 Características del ciclo estral del ganado <i>Bos Taurus</i>	6
2.5 Comportamiento del estro.....	6
2.6 Dinámica Ovárica durante el ciclo estral.....	7
2.7 Dinámica folicular en el periodo posparto	8
2.8 Condición corporal y su impacto sobre la dinámica folicular	9
2.9 Manipulación del ciclo estral de la vaca en el norte de México	10
2.10 Protocolos de sincronización	11
2.11 Sincronización de estros y ovulación.....	11
2.12 Tratamientos con GnRH y PGF2 α	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Descripción del sitio experimental	15
3.2 Clima	15
3.3 Alimentación de los animales durante el periodo del proyecto	15
3.4 Manejo de los animales.....	16

3.5 Grupos experimentales.....	16
3.6 Variables evaluadas	17
3.7 Análisis estadístico	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1 tasa de estros y respuesta del estro (h) en función a la aplicación de la hormona PGF _{2α}	18
4.2 Tasa de servicios	20
4.3 Tasa de concepción.....	20
4.4 Estimación de costos por vaca sincronizada	24
V. CONCLUSIONES.....	25
VI. LITERATURA CITADA.....	26
VII. ANEXOS	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tasa de estros a diferentes horas después de la última administración de PGF2 α en vacas Charolais	19
Cuadro 2. Análisis de frecuencia de la condición corporal sobre la tasa de servicios, tasa de concepción y vacas vacías en vacas Charolais.	22
Cuadro 3. Estimación de costos por vaca sincronizada con hormonas inyectables de PGF2 α y GnRH en vacas Charolais en Coahuila, México.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tasa de estros a diferentes horas después de la última administración de PGF2 α en vacas Charolais.....	19
Figura 2. Relación de la condición corporal con la tasa de concepción en respuesta al efecto de la aplicación de PGF2 α a intervalos de 14 días	23
Figura 3. Relación de la condición corporal y la tasa de vacas vacías en respuesta al efecto de la aplicación de PGF2 α a intervalos de 14 días.	23
Figura 4. Aplicación de cuatro dosis de PGF _{2α} a intervalo de 14 días y dos dosis de GnRH aplicadas al inicio del protocolo en el día cero y al momento de la inseminación artificial en vacas raza charolais.....	40

Condición corporal y tasa de fertilidad en vacas Charoláis tratadas con PGF2 α y GnRH

Ivana Guadalupe Robles

Resumen

El objetivo fue evaluar la relación entre la condición corporal y fertilidad en vacas charolais tratadas con cuatro dosis de prostaglandina F2a (PGF2 α) a intervalos de 14 días, y la aplicación de GnRH al día cero del protocolo y al momento de la inseminación artificial (I. A.). El estudio se realizó en el rancho experimental “Los Ángeles” ubicado en Saltillo, Coahuila, México, durante el periodo agosto-noviembre del 2022. Se utilizaron 40 Vacas de la raza Charolais las cuales fueron agrupadas y evaluadas en cinco tratamientos, clasificadas en base a su condición corporal presentada durante el proyecto: T1: condición corporal de 3, T2: condición corporal de 4, T3: condición corporal de 5, T4: condición corporal de 6, T5: condición corporal de 7. El estro se presentó en 24, 48, 72 y 96 horas después de la aplicación de PGF2 α ($p<0.05$). La tasa de concepción fue mayor en el T4 con un 88% ($p<0.05$). La tasa de vacas vacías fue mayor en el T1 ($p<0.05$). La condición corporal influye en el efecto de la aplicación de cuatro dosis de PGF2 α a intervalo de 14 días y dos dosis de GnRH en vacas raza Charolais modificando la tasa de concepción en condiciones bajo pastoreo extensivo a un costo de 9.68 dólares.

Palabras clave: Sincronización, GnRH, PGF2 α , *Bos taurus*, condición corporal.

Abstract

The objective was to evaluate the relationship between body condition and fertility in Charolais cows treated with four doses of prostaglandin F2a (PGF2 α) at 14-day intervals, and the application of GnRH on day zero of the protocol and at the time of artificial insemination (A.I.). The study was carried out at the “Los Ángeles” experimental ranch located in Saltillo, Coahuila, Mexico, during the period August-November 2022. 40 Charolais cows were used, which were grouped and evaluated in 5 treatments, classified based on to their body condition presented during the project: T1: body condition of 3, T2: body condition of 4, T3: body condition of 5, T4: body condition of 6, T5: body condition of 7. Estrus occurred 24, 48, 72 and 96 hours after the application of PGF2 α ($p < 0.05$). The conception rate was higher in T4 with 88% ($p < 0.05$). The empty cow rate was higher in T1 ($p < 0.05$). Body condition influences the effect of the application of four doses of PGF2 α at an interval of 14 days and two doses of GnRH in Charolais breed cows, modifying the conception rate in conditions under extensive grazing at a cost of 9.68 dollars.

Key words: Synchronization, GnRH, PGF2 α , *Bos taurus*, body condition.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial actual es aproximadamente de 7.2 millones de personas y se estima que habrá un aumento de un 71% para el año 2100 (Gerland *et al.*, 2014). Debido al creciente requerimiento generado por el proceso de industrialización de productos de origen animal, en México se han consolidado dos mercados adaptados a diferentes regiones: la región norte y la región centro-sur. Los estados del norte del país comprenden el 74% de la superficie ganadera, las condiciones agroecológicas de estas regiones áridas y semiáridas impiden de múltiples formas la diversificación de las actividades ganaderas y producción de bovinos con propósito cárnico (Chauvet, 1999). En estas regiones predomina la cría de ganado de manera extensiva en donde la alimentación del ganado se sustenta mediante pastizales naturales o áreas de pastoreo dado a que constituye una fuente de alimento económicamente viable (Garay *et al.*, 2020).

La nutrición es el elemento que ejerce la mayor influencia en la función reproductiva de las hembras de ganado de carne. Algunas investigaciones han contribuido a evaluar el estado nutricional del ganado mediante un puntaje de condición corporal (BCS; escala de 1 a 9) y reconocer la relevancia del puntaje de condición corporal en el desempeño reproductivo del ganado de carne (Hess *et al.*, 2005; Pruitt y Momont, 1987; J. N. Wiltbank *et al.*, 1962).

La meta principal de las explotaciones ganaderas consiste en lograr la producción anual de un ternero por cada vaca, el rendimiento reproductivo de los hatos es el factor principal que define la eficiencia de la producción nacional (Cooke *et al.*, 2021). Dentro de este contexto se han desarrollado biotecnologías como el empleo de protocolos de sincronización del estro, inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. Siendo herramientas influyentes en la mejora genética y gestión reproductiva de los hatos ganaderos, la sincronización de estros y los diversos protocolos asociados demandan una alimentación adecuada, un buen estado físico, salud y presencia de personal con experiencia para obtener una administración reproductiva exitosa (Haile *et al.*, 2023).

Los protocolos se constituyen de preparaciones hormonales que abarcan la aplicación de prostaglandina, progesterona, gonadotrofinas y la hormona liberadora de gonadotrofinas (GnRH), de forma natural y sintética (Chaudhari *et al.*, 2012). Los principales factores por los que este tipo de tecnologías suele no tener éxito incluyen una mala alimentación y manejo, una mala detección de estros, técnicos inseminadores no calificados, mal manejo reproductivo, enfermedades reproductivas y, a excepción del ganado lechero, la presencia del becerro provoca un anestro postparto prolongado (Chaudhari *et al.*, 2012; Stevenson *et al.*, 2008).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la condición corporal de vacas Charolais tratadas con cuatro dosis de prostaglandina ($\text{PGF}_{2\alpha}$) a intervalos de 14 días y GnRH, bajo condiciones de pastoreo.

1.1.2 Objetivos particulares

Efecto de la condición corporal y su respuesta en la tasa de estro.

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

Efecto de la condición corporal y su respuesta en la tasa de servicios.

Efecto de la condición corporal y su respuesta en la tasa de concepción.

Evaluar los costos del protocolo de sincronización de estros.

1.2 HIPÓTESIS

Las vacas con menor índice de condición corporal, manifestarán un bajo desempeño en las variables reproductivas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Situación actual de la ganadería bovina para carne en México

La ganadería en México se desarrolla en diferentes regiones ecológicas-ganaderas: templada, Árida, Semiárida, Trópico húmedo y Trópico seco. La heterogeneidad del país permite desarrollar diferentes sistemas de producción para el desarrollo de bovinos con propósito cárnico siendo los sistemas fundamentales el sistema de engorda intensiva en corral y el sistema extensivo o engorda en praderas y agostaderos, cada uno de ellos es adaptado en función de la región ecológica- ganadera y sus condiciones presentes (Gamboa-Mena *et al.*, 2005; SEMARNAT, 2018).

La producción ganadera en el país sigue constantemente trabajando para mejorar las condiciones desfavorables post pandemia, y actualmente nuestro país, se posiciona en el séptimo lugar como productor de carne de res a nivel mundial, aportando alrededor del 3.6% de la producción mundial, cerrando con un total de 33, 661, 327 cabezas a nivel nacional para el año 2022 (SIAP-SAGARPA, 2022b).

El 55% del territorio nacional es destinado para la ganadería, se cuenta con alrededor de 177 millones de hectáreas para el desarrollo del sector pecuario (SIAP-SAGARPA, 2021). Las principales entidades federativas productoras de ganado de carne de res son Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Durango, Baja California, Chiapas, Sinaloa, Michoacán, Chihuahua y Sonora. Estos 10 estados aportan el 64 % de la producción nacional (SIAP-SAGARPA, 2020).

Según la estimación oficial del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA) la importación del año 2023 representa un 43 % menos que el año 2022. Las exportaciones han tenido un aumento del 26 % a comparación del año 2022 con un total de 1.1 millones de cabezas de ganado (USDA, 2023). En el ámbito económico el precio en México durante agosto del 2023 en promedio pagado al productor por carne de bovino en pie es de \$39,420 pesos por tonelada; en promedio el precio de carne en canal es de \$77,630

pesos por tonelada, estos precios son un 4.3 % mayor en comparación del año 2022 (SIAP-SAGARPA, 2022a).

2.2 Alimentación del ganado en condiciones de pastizales

Los pastizales abarcan aproximadamente el 40% de la extensión total de la superficie terrestre (Kemp *et al.*, 2013). En las regiones áridas y semiáridas del norte de México los pastizales comprenden alrededor de una cuarta parte de la superficie total del país (SEMARNAT, 2016). En la región septentrional de México se encuentran los pastizales naturales (mediano abierto y mediano arborescente), los pastizales de montaña (mediano abierto, amacollado abierto y amacollado arborescente) y los pastizales halófitos, cada uno de ellos están constituidos por una variedad de comunidades vegetales compuestas generalmente por plantas herbáceas principalmente gramíneas perennes y anuales (CONABIO, 2014).

En la alimentación del ganado bajo condiciones extensivas se utilizan principalmente especies de los géneros *Bouteloua*, *Aristida*, *Bothriochloa*, *Lycurus* y *Bromus* (Jurado *et al.*, 2021). Siendo así la fuente de forraje más económica que respalda la actividad ganadera. El sistema de producción que predomina en zonas áridas y semiáridas es denominado Vaca-Cría, consiste en la venta de becerros al destete antes de llegar a la época donde se presenta la escasez de forraje (Jurado *et al.*, 2021; Molina, 2005).

Los sistemas de pastoreo empleados en áreas de pastizales son el pastoreo continuo, alterno y rotacional (Rincón *et al.*, 2010). Un correcto manejo del pastoreo puede llegar a aumentar la producción de carne y mejorar la estructura y calidad del pastizal (Gutiérrez *et al.*, 2012). En la parte norte del país es frecuente el mal manejo del recurso pastizal, estados como Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco y Sonora enfrentan un problema de sobrepastoreo con relación a la superficie ganadera disponible (SEMARNAT, 2003).

Savory (2000) explica que el sobrepastoreo contribuye a la disminución de la cobertura vegetal conduciendo así al deterioro del pastizal dando lugar a una sucesión negativa. Según Southorn y Cattle (2004) una alternativa para reducir los efectos perjudiciales y maximizar la recuperación del suelo y el pastizal puede ser la implementación del sistema de pastoreo

rotacional, con base a lo anterior el periodo de descanso asociado con la gestión rotativa puede ayudar a que el pastizal se recupere de los impactos del ganado. Se ha obtenido evidencia de que promueve una mayor durabilidad y productividad de los pastizales perennes, contribuye benéficamente a la composición botánica, ambiental y a la calidad del suelo.

2.3 Valor nutricional de los forrajes en agostaderos

En el territorio mexicano los agostaderos están ubicados en zonas áridas, semiáridas o tropicales (Esqueda *et al.*, 2011). Las especies presentes en zonas áridas y semiáridas experimentan variaciones significativas, siendo influenciadas por factores como el clima, suelo y la precipitación. Algunas cualidades en estas especies incluyen la capacidad de establecerse fácilmente, una productividad sostenida incluso con el pastoreo, adaptabilidad al clima específico y a las condiciones edafológicas, resistencia a plagas y enfermedades, confiabilidad en su propagación vegetativa, así como tener un buen valor nutricional y aceptación por parte de los animales (Guerrero, 2008).

En el norte del país, las especies que predominan son del género *Bouteloua* que poseen características favorables como alta capacidad de rebrote, buen potencial de producción de semilla y un gran potencial forrajero. El pasto Banderita [*B. curtipendula* (Michx.) Torr] alcanza alturas altas promedio mayores a 71 cm y produce abundante biomasa, es una de las especies preferidas por el ganado, cuenta con adaptabilidad edáfica y es ampliamente utilizado en resiembras (Quero *et al.*, 2014). La especie *B. gracilis* se caracteriza por su alta densidad de tallos y longitud de inflorescencia, así como buena altura de forraje (Morales *et al.*, 2009), mientras que *B. dactyloides* posee una alta gustocidad para el ganado, resistencia al pastoreo y se caracteriza por ser una especie indicadora de un buen manejo del agostadero (Herrera y Pamanes, 2010).

El género *Cenchrus* está presente con especies como el zacate buffel (*C. ciliaris*) el cual sobresale como especie forrajera y se le reconoce por su facilidad de establecimiento, resistencia a la sequía, buena respuesta al pastoreo y sobre todo calidad forrajera (Alcala, 1995). Su proporción de proteína cruda (PC) varía de 3.5 % a 12 % a través de su crecimiento activo (Martín, 1990), presenta valores máximos de digestibilidad en los meses de julio a septiembre de 51 a 53% (Alcala, 1995), el contenido de fibra promedio es de 73 % a 81 %

en su periodo de crecimiento y madurez (Martín, 1990). Por otro lado, los pastos del género *Bromus* originarios de zonas climáticas con inviernos suaves se caracterizan por tener patrones de crecimiento apropiados para ser usadas como plantas forrajeras.

2.4 Características del ciclo estral del ganado *Bos taurus*

El ciclo estral es el patrón cíclico de la actividad ovárica que posibilita a la hembra transitar de un periodo de no receptividad reproductiva a la receptividad permitiendo así el apareamiento y por consiguiente la preñez (Forde *et al.*, 2011). Las principales diferencias entre el ganado *B. taurus* y *B. indicus* se reflejan en el inicio de la pubertad y la duración e intensidad del estro, esto debido a disparidades en sus características reproductivas (Álvarez *et al.*, 2000).

Canal *et al.* (2020), reportan diferencias en la edad en que las hembras presentan la pubertad, vaquillas con influencia de *B. taurus* tienden a alcanzar la pubertad antes que las vaquillas *B. indicus*. En animales *B. taurus* la pubertad se produce a los 6-12 meses de edad, generalmente con un peso de 200-250 kg, mientras que los animales *B. indicus* la entrada a la pubertad es más retrasada (Forde *et al.*, 2011). La duración promedio del comportamiento del estro en las razas *B. taurus* es de 18 horas (Pinheiro *et al.*, 1998), en ganado *B. indicus* tiene una duración de 10 horas (rango de 1.3 a 20 horas) (Mukasa-Mugerwa, 1989). Por otro lado, la diferencia en el tamaño del folículo preovulatorio y cuerpo lúteo en animales *B. taurus* es de mayor tamaño que el de *B. indicus* y expone este factor como explicación a la menor duración e intensidad del estro entre genotipos.

2.5 Comportamiento del estro

En ganado *B. taurus* se presenta una mayor intensidad del comportamiento estral, la duración y expresión del mismo puede variar en función a factores ambientales, edad, raza, número de vacas, entre otros. Los signos de estro que se presentan con más frecuencia en derivados de *B. taurus* son la inquietud del hato, receptividad a la monta, bramidos y tumefacción vulvar (Sepulveda y Rodero, 2003).

Existen diferencias entre *B. indicus* y *B. taurus* en lo que respecta a la intensidad de expresión de algunos signos de estro. Las vacas exhiben una preferencia temporal en la expresión del comportamiento de celo, destacándose con mayor frecuencia en las primeras horas de la mañana, al anochecer y, ocasionalmente, durante la noche, según hallazgos de investigaciones en diversas latitudes (Guaqueta, 2009).

2.6 Dinámica Ovárica durante el ciclo estral

Una onda folicular es caracterizada por el reclutamiento de un grupo de folículos en desarrollo, del cual se selecciona uno para continuar con su crecimiento, mientras que los demás pasan al proceso de atresia (Sirois y Fortune, 1990). En el caso de la dinámica folicular en hembras *B. taurus* de carne y leche se presentan de dos y en ocasiones hasta cuatro ondas foliculares (Sartori *et al.*, 2004; Gong *et al.*, 1993), mientras que, Sirois y Fortune (1990), reportan la presencia de tres ondas foliculares por ciclo en novillas de la raza Holstein.

El diámetro máximo del folículo preovulatorio en ganado *B. taurus* es aproximadamente de 14-20 mm (Ginther *et al.*, 1989), donde los folículos que preceden a la ovulación, influyen en cierta medida en las dimensiones y en la masa celular del cuerpo lúteo (CL), debido a que no ocurre una división celular significativa en las células granulosas luteinizantes después de la ovulación (Niswender *et al.*, 1994).

En *B. taurus* se presenta el cuerpo lúteo de un diámetro aproximado de 20-30 mm (Bó *et al.*, 1993), mientras que en hembras *B. indicus* el diámetro del folículo preovulatorio es significativamente más pequeño, siendo de 10 a 12 mm (Bage, 1999) y su cuerpo lúteo de 17 a 21 mm (Rhodes *et al.*, 1995). El valor del pico de progesterona (p4) tiende a ser más alto en *B. taurus* en comparación a *B. indicus* esto se atribuye a la diferencia del diámetro del folículo dominante y cuerpo lúteo entre los genotipos.

Bastos *et al.* (2010) realizaron un estudio en vacas Nelore y Holstein, ambas razas bajo las mismas condiciones ambientales, se observó que el número de folículos de 2-5 mm presentes en los ovarios, fue mayor en vacas Nelore con 42.7 ± 5.9 (variando de 25 a 100) en comparación de los presentes en vacas Holstein con tan solo 19.7 ± 3.2 (variando de 5 a 40).

Por otro lado, Baldrighi *et al.* (2014) compararon razas *B. taurus* y *B. indicus* en novillas Gyr y Holstein, bajo las mismas condiciones, la población de folículos antrales en novillas Holstein fue menor (27.7 ± 2.2) *versus* vaquillas Gyr (64.2 ± 17.1), sin embargo, el diámetro del folículo ovulatorio y cuerpo lúteo fue mayor en becerras Holstein (15.0 ± 0.4 mm) *versus* (13.7 ± 0.7 mm) en novillas Gyr.

2.7 Dinámica folicular en el periodo posparto

El patrón de reactivación de la función ovárica en el periodo posparto se ve influenciada por la incidencia del anestro, condición que se caracteriza por la ausencia del estro. El inicio del crecimiento folicular ovárico no se ve generalmente afectado dentro de este periodo, por otra parte, el desarrollo y destino del folículo dominante son aquellos que afectan directamente a la ciclicidad ovárica (Peter *et al.*, 2009). La recuperación del útero después del parto se denomina involución uterina y se completa generalmente en un periodo de 3 a 7 semanas, durante el cual el útero retorna a su tamaño pre gestacional (Miettinen, 1990).

Al momento del parto las concentraciones de progesterona y estradiol disminuyen a concentraciones basales, permitiendo la reanudación de aumentos breves y recurrentes de concentraciones de FSH que ocurren en intervalos de 7 a 10 días (Crowe *et al.*, 1998). El primer aumento de FSH estimula a la primera onda de crecimiento folicular posparto que se caracteriza por el crecimiento de folículos pequeños (<4 mm) y medianos (5-9 mm) (Savio *et al.*, 1990). Finalmente, uno de estos folículos es seleccionado y se convierte en folículo dominante, su destino depende de su capacidad para secretar suficientes concentraciones de 17β -estradiol para así lograr inducir una oleada de gonadotropinas (Crowe, 2008). La secreción de estradiol depende de la frecuencia de pulsos de LH, el tamaño del folículo dominante y la biodisponibilidad de IGF-1 (Austin *et al.*, 2001; Canty *et al.*, 2006).

La frecuencia de pulsos de LH es el principal estimulador de la ovulación de un folículo dominante durante el periodo de posparto, puede provocar la ovulación o prolongar su duración de dominancia, siendo necesaria una frecuencia de un pulso por hora (Duffy *et al.*, 2000). La LH es elemental para un crecimiento de más de 7 mm de diámetro de los folículos

dominantes (Gong *et al.*, 1997). La primera ovulación generalmente puede ser silenciosa en vacas con propósito cárnico y de leche presentando una ausencia de estro comportamental y es seguida por un ciclo corto regularmente con solo una onda de folículos (Kyle *et al.*, 1992; Crowe, 2008).

Wiltbank *et al.* (1964) menciona que la restricción en la ingesta de energía puede aumentar el periodo para que ocurra la primera ovulación en vacas de propósito cárnico. La lactancia también es un factor que afecta significativamente a la actividad ovárica, Nett (1987) menciona que la lactancia y factores estresantes ambientales, inducen la secreción de péptidos opioides endógenos que posteriormente inhiben las descargas de GnRH en el hipotálamo, esta inhibición da como resultado una reducción en la frecuencia de los pulsos de LH afectando las etapas finales del crecimiento folicular.

El amamantamiento de más de 2-3 veces al día prolonga la duración de la ciclicidad ovárica, disminuye las concentraciones plasmáticas de LH, aumenta la sensibilidad del eje hipotálamo-hipofisario a los efectos inhibitorios del estradiol en la secreción de LH, también inhibe la secreción de GnRH en ausencia de estradiol. Se ha observado que puede haber un aumento en las concentraciones plasmáticas de LH y adelanto de la ovulación y ciclicidad ovárica si se implementa el destete completo o parcial durante 48-72 horas asociados con tratamientos para sincronización de estros (Wright y Malmo, 1992).

2.8 Condición corporal y su impacto sobre la dinámica folicular

La evaluación del equilibrio energético de manera individual en hembras presenta cierta dificultad, por ello, es medido su estado nutricional por medio de una puntuación de la condición corporal. En vacas lecheras hay un aumento en requisitos energéticos al inicio de la lactancia dando como resultado un desequilibrio energético negativo, retrasando la primera ovulación por medio de la inhibición de la frecuencia de pulsos de LH y bajos niveles en sangre de glucosa, insulina e IGF-I, además este desequilibrio energético disminuye las concentraciones séricas de progesterona (Butler, 2000). La nutrición, al alterar el aclaramiento metabólico de la progesterona, afecta la duración de la dominancia de un

folículo dominante y el número de ondas foliculares por ciclo causando un efecto indirecto en las tasas de concepción de los hatos (Crowe, 2008).

Murphy *et al.* (1991) realizaron un trabajo de investigación en vaquillas de carne Fresian x Hereford, donde se evidenció que la restricción en la ingesta dietética tiene efecto sobre la reducción del diámetro máximo y la persistencia de los folículos dominantes. Otro estudio realizado por Mackey *et al.* (2000) en vaquillas de carne mostró la asociación de la restricción dietética con el eje hipotalámico-hipofisario, donde se observó una disminución de la tasa de crecimiento del folículo dominante y sugieren que es suprimido por la disminución en la concentración sistémica de IGF-I y sus proteínas de unión dentro del folículo. Al respecto, Prado *et al.* (1990) indican que los mecanismos fisiológicos encargados del reclutamiento de folículos ováricos pueden activarse en una fase más temprana en vacas que paren con una condición corporal más alta en comparación con aquellas de una menor condición corporal. Así mismo, la leptina, es una hormona sintetizada y secretada por los adipocitos y ha sido propuesta como una señal metabólica para la reproducción.

2.9 Manipulación del ciclo estral de la vaca en el norte de México

Los ganaderos tienen como principal objetivo el mejorar las tasas reproductivas de sus hatos, ya que buscan como garantía un retorno económico para lograr la mayor rentabilidad de sus operaciones (Carneiro y Campos, 2012). La optimización de la eficiencia reproductiva en explotaciones ganaderas puede resultar desafiante, la manipulación del ciclo estral implica varias fases y se pueden emplear diferentes protocolos y técnicas. En México se han empleado tratamientos hormonales para inducir el estro y la ovulación, controlando el amamantamiento, la frecuencia y estímulo del mismo, la alimentación y diferentes épocas de apareamiento (Rosete *et al.*, 2021). La implementación de esos tratamientos facilita el uso de la inseminación artificial a tiempo fijo o a estro detectado, equilibra el nacimiento de becerros y aumentando así, la tasa de preñez (Abel *et al.*, 2017).

2.10 Protocolos de sincronización

Macmillan (2010) menciona que existen dos métodos para sincronizar el estro en prácticas reproductivas, una de ellas es acortar la fase lútea por lisis del cuerpo lúteo y la segunda extender artificialmente su vida por medio de progestágenos. Por otro lado, Patterson *et al.* (2003) divide la manipulación de los ciclos estrales en cinco fases: la fase uno consiste en prologar la fase lútea o establecer una fase lútea artificial mediante la administración de progestágenos exógenos; la fase dos se basa en una combinación de agentes pro gestacionales con estrógenos o en su caso gonadotropinas; la tercera fase se rige por el uso de prostaglandina F_{2α} y análogos de la misma como agentes luteolíticos; la fase cuatro es determinada por tratamientos que combinan progestágenos y prostaglandinas, y por último, la fase cinco monitorea la manipulación de la fase lútea y el crecimiento folicular. Los protocolos de sincronización del estro dan como resultado final un estro y ovulación sincronizados, contribuyendo a reducir el tiempo y trabajo relacionado con la detección de estro. De esta manera la inseminación artificial se facilita para un mayor número de productores (Mallory *et al.*, 2010).

2.11 Sincronización de estros y ovulación

La sincronización del estro involucra la manipulación del ciclo estral o la inducción del estro para llevar el mayor porcentaje de un grupo de hembras al estro en un periodo de tiempo predeterminado (Odde, 1990). Los procedimientos para la sincronización del estro y la ovulación en animales cíclicos se fundamentan en la coordinación del término de la fase progestacional y, por lo tanto, el comienzo del proestro (Wright y Malmo, 1992). Esta sincronización se puede lograr mediante el uso de progestágenos, combinaciones de progestágeno-prostaglandina, prostaglandinas únicamente, combinaciones de progestágeno-estrógeno y también en base a combinaciones de gonadotropina-prostaglandina con o sin progestágenos (Larson, 1999). El objetivo principal de estos métodos se basa en controlar tanto la función del cuerpo lúteo y el desarrollo folicular, sincronizando de manera más

precisa el estro y la ovulación, permitiendo una inseminación artificial programada y efectiva (Islam, 2011).

Uno de los métodos más antiguos y utilizados para sincronizar el estro por medio de un agente luteolítico es el tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Islam, 2011). La $\text{PGF}_{2\alpha}$ provoca la regresión lútea entre los días 5 y 16 del ciclo estral bovino. Aunque su uso básicamente es luteolítico, también se ha informado que tiene efectos sobre la ovulación, la implantación del embrión, el mantenimiento del embarazo y la función fisiológica posparto (Weems *et al.*, 2006). En vacas dentro de periodo posparto, Randel *et al.* (1996) menciona que el análogo de la prostaglandina $\text{F}_{2\alpha}$ incrementa la respuesta de la hipófisis al factor liberador de gonadotropinas (GnRH), favoreciendo a la liberación de la hormona LH, lo que culmina en ovulación. El estro se manifiesta en el mayor de los casos en un periodo de 2-5 días en vacas después del tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Wright y Malmo, 1992).

La administración de progesterona por medio de dispositivos intravaginales moldeados en silicona (CIDR-B; Zoetis) resulta eficaz para regular el periodo de estro y la ovulación en vacas cíclicas, así como para inducir el estro y ovulación en vacas anéstricas (Munro y Moore, 1985). El pretratamiento con progesterona es elemental para la función luteal posterior a la inducción de la maduración folicular y para la ovulación inducida por gonadotropinas o GnRH (Wright y Malmo, 1992). Se ha usado simultáneamente benzoato de estradiol (OB) en la inserción del dispositivo o PGF dos días antes del retiro del dispositivo intravaginal obteniendo una sincronización eficiente (Macmillan y Asher, 1990).

La estrategia para gestionar el desarrollo folicular implica inicialmente la eliminación del folículo dominante, seguida por la promoción o permisión de una elevación sincrónica de la hormona folículo estimulante (FSH) que resulta en la sincronización de una nueva onda folicular (Burke *et al.*, 2003).

La aplicación de progestágenos y estradiol 17 β -estradiol (E2) o en su lugar benzoato de estradiol (BE), provocan el desarrollo simultáneo de una nueva onda folicular sincronizada aproximadamente 4 días después del tratamiento (Bó *et al.*, 2002). El tratamiento con E2 ha conducido a la aparición de una nueva onda folicular en 3-5 días (Bo *et al.*, 1995). La administración de BE posterior a la inducción de la luteólisis ha mejorado la sincronización del estro y la ovulación (Cavalieri *et al.*, 2006), se ha informado que el benzoato de estradiol

(BE) induce a la atresia del folículo dominante en un promedio de 36 horas, pero la presencia de una nueva onda folicular tiene un retraso de 3-5 días (Burke *et al.*, 2003).

El cipionato de estradiol (CE) cumple la función de inducir y sincronizar la ovulación, se administra regularmente en tratamientos basados en progesterona y es aplicado al final de los mismos (Colazo *et al.*, 2003). En un estudio reciente (Bosolasco *et al.*, 2021) reportó los efectos de la administración de CE al término de un tratamiento con progesterona donde menciona que además de inducir la ovulación en vacas anéstricas posparto, mejoró la función luteal postovulatoria.

La GnRH es utilizada principalmente para provocar oleadas endógenas de LH y FSH que inducen a la luteinización u ovulación de un folículo dominante existente, lo que da lugar a la emergencia de una nueva onda folicular (Twagiramungu *et al.*, 1995). La GnRH sincroniza la aparición de una nueva onda solo si hay presencia de un folículo dominante funcional, si es administrada antes de la dominancia no afecta el desarrollo de esa onda (Diskin *et al.*, 2002).

2.12 Tratamientos con GnRH y PGF_{2α}

La sincronización del ciclo estral y la fertilidad mediante la utilización conjunta de GnRH y PGF_{2α} resulta eficaz en hembras cíclicas, incluso esta combinación puede ayudar a la recuperación del ciclo estral en vacas que atraviesan el anestro posparto (Islam, 2011). Existe un programa denominado Ovsynch, el cual permite una sincronización de la ovulación y una efectiva inseminación programada, consiste en una aplicación de GnRH en el día cero buscando la emergencia de una nueva onda folicular, PGF_{2α} en el día 7 con el objetivo de inducir la regresión lútea y por último una segunda aplicación de GnRH 48 horas después de la aplicación de PGF_{2α} para ovular el nuevo folículo dominante probablemente existente (Pursley *et al.*, 1995).

Existen otros protocolos derivados y adaptados del programa Ovsynch, dos de ellos son Presynch-Ovsynch (PO) y Double-Ovsynch (DO). El protocolo PO fue desarrollado por Moreira *et al.* (2001), consiste en la aplicación de dos inyecciones de PGF_{2α} con un intervalo de 14 días y 10, 11,12,13 y 14 días antes del comienzo del protocolo Ovsynch, se han

observado tasas de preñez mejoradas en vacas pre sincronizadas buscando sobre todo que inicien el protocolo de IA en la fase temprana del diestro del ciclo estral.

El programa de sincronización Double-Ovsynch tiene una duración de 28 días, como su denominación sugiere consiste en emplear dos veces el protocolo Ovsynch separados por 7 días, se observó que este protocolo mejora la fertilidad en vacas anovulatorias y vaquillas primíparas (Souza *et al.*, 2008). El protocolo Double- Ovsynch ha pasado por adecuaciones a lo largo de los años, en una de estas investigaciones se incluyó en el tratamiento una dosis de PGF2 α adicional un día después del tratamiento normal de PGF2 α de Ovsynch, mostrando efectividad reflejada en la regresión luteal (Brusveen *et al.*, 2009). Seis años después se realizó un estudio donde se propuso agregar en el último Ovsynch un doble tratamiento de PGF2 α con una diferencia de 24 h entre cada una de ellas, aumentando la fertilidad aproximadamente en un 10% en las vacas tratadas con la segunda PGF2 α durante un protocolo de Doble-Ovsynch (Wiltbank *et al.*, 2015).

Con el objetivo de reducir la duración del Double-Ovsynch se ha adaptado el protocolo G6G el cual consiste en 6-7 días antes de iniciar con el protocolo Ovsynch se hace una aplicación de PGF2 α en el día cero y dos días después una dosis de GnRH tiene la ventaja de que consta de una inyección menos que el protocolo Ovsynch y un periodo más corto de aplicación que Double-Ovsynch (Bello *et al.*, 2006). Uno más de los protocolos adaptados es el Ovsynch-56, implica la administración de GnRH en el día cero, seguido de PGF2 α siete días después, posteriormente se realiza una aplicación de GnRH 56 horas después del tratamiento con PGF2 α , la inseminación artificial a tiempo fijo es ejecutada 16 horas después de la aplicación de GnRH (Brusveen *et al.*, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el rancho experimental “Los Ángeles”, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado en el municipio de Saltillo Coahuila, a una distancia de 34 km, al sur de la ciudad de Saltillo. Las coordenadas geográficas correspondientes al rancho son 25° 04’ 12” y 25° 08’ 51” Latitud Norte y 100° 58’ 07” y 101° 03’ 12” Longitud Oeste, con una altitud de 2150 m (Serrato, 1982). La superficie está constituida aproximadamente por 35 % de sierra, 10 % de lomeríos y 55 % de valles (Medina, 1972). Este rancho es destinado a la producción extensiva de ganado bovino, cuenta con una superficie aproximadamente de 7,026 has, divididas en 20 potreros (Gonzalez, 2004). Actualmente se encuentra produciendo ganado de la raza charoláis que es alimentado mediante un sistema de pastoreo que permite la producción de ganado y conservación de la fauna silvestre.

3.2 Clima

El clima presente en la región según Köppen, modificado por Enriqueta García, es BS1 kw” (e’), semiárido. La temperatura media anual es de 13.4°C, con heladas casi todo el año (junio, Julio y agosto están libres de heladas), con una precipitación promedio anual de 450 a 550 mm (Diaz, 2013; Roque, 2015).

3.3 Alimentación de los animales

La alimentación de los animales estuvo establecida bajo un sistema en pastoreo extensivo rotacional en potreros de un pastizal mediano abierto, formado de diversas especies de gramíneas perennes y anuales. Algunas de estas especies son: Zacate agujilla grande (*Achnatherum eminens*); Zacate picoso (*Amelichloa clandestina*); Zacate lobero (*Lycurus phleoides*); Zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*); Zacate tres barbas (*Aristida spp.*); Zacaton alcalino (*Sporobolus airoides*); Zacate rizado (*Panicum hallii*); Avena (*Avena*

sativa); Zacate popotillo plateado (*Bothriochloa barbinodis*); Zacate bufalo (*Bouteloa dactyloides*); Zacate navajita azul (*Bouteloa gracilis*); Zacate salvación (*Bromus catharticus*); Zacate bromo (*Bromus carinatus*); Zacate bermuda (*Cynodon dactylon*); Zacate borreguero (*Dasyochloa pulchella*); Zacate ladera (*Enneapogon desvauxii*); Zacate gigante (*Leptochloa dubia*); Zacate aparejo (*Muhlenbergia repens*); Zacate ladera (*Urochloa meziana*) (Valente, 2013).

3.4 Manejo de los animales

El experimento inició el 19 de agosto y finalizó el 12 de noviembre del 2022. Se utilizaron 40 vacas raza Charolais de dos a seis años de edad con un peso vivo promedio de 420 ± 88 kg, las cuales fueron agrupadas en cinco tratamientos, cada tratamiento estuvo formado de ocho vacas, clasificadas en base a la puntuación de condición corporal para ganado de carne (escala de 1 a 9; (Pruitt y Momont, 1987). Se asignó la puntuación corporal por técnicos con experiencia y capacitados.

3.5 Grupos experimentales

Las 40 vacas se agruparon en cuatro tratamientos, cada uno con 8 vacas (n=8). Las vacas con condición corporal 3, 4, 5, 6 y 7 se agruparon en los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

Todas las vacas recibieron vía intramuscular en cuatro ocasiones una dosis de 150 mcg PGF₂ α (D-Cloprostenol; Croniben Biogénesis Bagó) a intervalos de 14 días y en dos ocasiones una dosis intramuscular de 8.4 mcg de GnRH (Acetato de buserelina; Gonaxal; Biogénesis Bagó), ésta fue administrada al inicio del protocolo y la segunda en el momento de la inseminación artificial.

En todos los tratamientos el estro fue monitoreado bajo la regla am-pm (6:00-10:00 am) y (4:00-6:00 pm) durante tres días consecutivos a la última aplicación de PGF2 α . Las vacas que mostraron estro fueron inseminadas de 12 -16 h después.

3.6 Variables evaluadas

Los cálculos fueron estimados bajo los criterios y fórmulas propuestas por Abdullah *et al.* (2015) y Cardoso Consentini *et al.* (2021):

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

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

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

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

Las vacas fueron palpadas vía transrectal 53 días posteriores a la inseminación artificial para la evaluación de la tasa de concepción utilizando un ultrasonido equino veterinario Sonoscape E1V, equipado con sonda rectal, y con la ayuda del programa de Excel, se estimaron los costos de sincronización de estros total y por vaca sincronizada.

3.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos y 8 repeticiones. A las variables obtenidas, Tasa de estros (%), Tasa de servicios (%), Tasa de concepción (%) y Tasas de vacías (%), se les realizó un análisis de varianza (ANVA) con el software SAS

versión 9.4. A las variables con significación estadística en el ANVA ($P < 0.05$) se les aplicó una comparación de medias con la prueba Tukey ($P < 0.05$). El modelo estadístico lineal utilizado fue,

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, n$$

Dónde: y_{ij} es la observación del tratamiento i en la repetición j , μ es la media general, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, e_{ij} es el error experimental de la ij -ésima observación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 tasa de estros y respuesta del estro (h) en función a la aplicación de la hormona PGF2 α

La respuesta del estro en horas después de la aplicación de PGF2 α , fue mayor para el horario de 72 h siendo de 68%, presentando diferencia estadística ($p \leq 0.05$) y superior al resto de los horarios evaluados, los cuales mostraron un menor porcentaje de estros a 96 h (5%), 24 h (10%) y 48 h (18%) (Cuadro 1). Entre los horarios de 24, 48 y 96 h después de la aplicación de PGF2 α , no hubo diferencia estadística ($p \geq 0.05$) (Figura 1). Existen estudios que han destacado la posibilidad de emplear la PGF2 α o sus análogos para alcanzar niveles adecuados de sincronización de estro en el ganado (Macmillan y Day, 1982). La sincronización del estro en vacas tratadas con PGF2 α se presenta regularmente cuando se encuentran en la fase de diestro, tienden a iniciar el estro de manera sincronizada alrededor de 72 horas después de la aplicación (Roche, 1976). Referente a lo anterior Britt *et al.* (1978) reportaron un intervalo de inicio del estro de $(71 \pm 3 \text{ h})$ y una tasa de estros del 78% en vaquillas Holstein tratadas con PGF2 α . Por otra parte Davis *et al.* (1987) trabajaron con vaquillas Angus y reportaron una tasa de estro del 61% para las vacas que recibieron solo PGF2 α y del 73% para otro grupo que recibió PGF2 α más benzoato de estradiol (BE). En un estudio similar utilizando vacas de carne y vaquillas con cuerpos lúteos palpables (Peters *et al.*, 1977) reportaron el 72 % de animales que presentaron estro con una aplicación de PGF2 α y 70 % para animales que recibieron dos aplicaciones de la misma hormona.

Cuadro 1. Tasa de estros a diferentes horas después de la última administración de PGF2 α a en vacas Charolais.

Estro (h)	Estro (%)	Valor de P
24	10.0 b (4/40)	(p \geq 0.05)
48	18.0 b (7/40)	(p \geq 0.05)
72	68.0 a (27/40)	(p \leq 0.05)
96	5.0 b (2/40)	(p \geq 0.05).
C.V	25.1	

abc indican diferencia estadística entre filas (p \leq 0.05). C.V indica el resultado del coeficiente de variación.

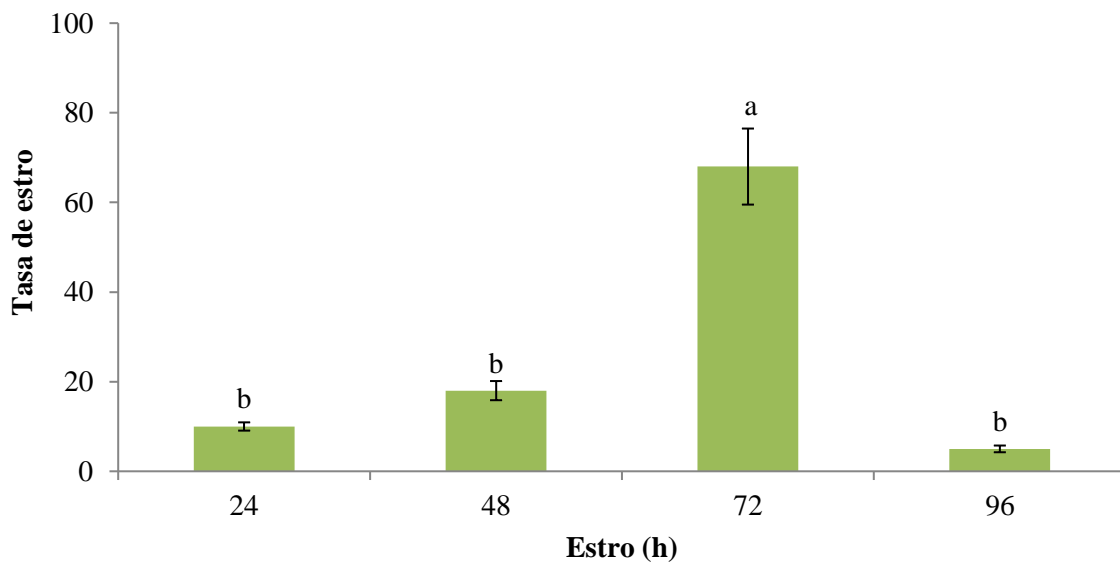


Figura 1. Tasa de estros a diferentes horas después de la última administración de PGF2 α en vacas Charolais.

4.2 Tasa de servicios

La tasa de servicios se establece considerando el porcentaje de vacas que han sido inseminadas respecto al total de vacas aptas para la sincronización e inseminación en un intervalo de tiempo específico (Fetrow *et al.*, 2006). La tasa de servicios no mostro diferencia estadística entre tratamientos ($p \geq 0.05$); todas las vacas de cada grupo mostraron estro y fueron inseminadas (Cuadro 2).

4.3 Tasa de concepción

La tasa de concepción fue mayor en animales de condición corporal 6 del tratamiento 4, quienes mostraron el 88% de concepción superando a los animales del tratamiento 1, 2 y 5, quienes mostraron una menor tasa de concepción del 25 %, 38 % y 63 %, respectivamente, ($p < 0.05$; Cuadro 2). Entre los animales del tratamiento 3 y 4 no hubo diferencia estadística ($p > 0.05$). La condición corporal favoreció la tasa de concepción para los animales del tratamiento 3 y 4, quienes mostraron una mejor condición corporal al inicio de la investigación, siendo de 5 y 6, respectivamente (Figura 2), mientras que animales de baja condición corporal al inicio del tratamiento mostró mayor número de vacas vacías (Figura 3).

Susilorini *et al.* (2019) condujo un estudio con vaquillas lecheras en Indonesia y reportó lo siguiente, las vaquillas que recibieron una aplicación de PGF2 α mostraron una tasa de concepción del 34% mientras que las que recibieron 2 aplicaciones de PGF2 α mostraron una tasa de concepción del 62%. En otro estudio, para evaluar la condición corporal se dividieron los animales en tres grupos; animales de <341kg de Peso Vivo, 341-355 kg de Peso Vivo y >355 kg de Peso Vivo. La tasa de concepción fue de 54% para vaquillas de 341-355 kg de Peso Vivo, donde se concluye que con un buen peso vivo al momento de la sincronización favorece los índices reproductivos (Susilorini *et al.*, 2019).

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 2. Análisis de frecuencia de la condición corporal sobre la tasa de servicios, tasa de concepción y vacas vacías en vacas Charolais.

Tratamiento*	N	Vacas inseminadas	Vacas preñadas	Vacas vacías	Vacas servidas (%)	Concepción (%)	Vacas vacías (%)	Valor de P
1	8	8	2	6	100 (8/8)	25.0 c (2/8)	75.0 a (6/8)	(p≤0.05)
2	8	8	3	5	100 (8/8)	38.0 c (3/8)	63.0 a (5/8)	(p≤0.05)
3	8	8	6	2	100 (8/8)	75.0 ab (6/8)	25.0 bc (2/8)	(p≤0.05)
4	8	8	7	1	100 (8/8)	88.0 a (7/8)	13.0 c (1/8)	(p≤0.05)
5	8	8	5	3	100 (8/8)	63.0 b (5/8)	38.0 b (3/8)	(p≤0.05)
C.V						13.9	16.8	

abc indican diferencia estadística entre filas (p≤0.05). C.V indica el resultado del coeficiente de variación. † Las aplicaciones de PGF2α, se realizaron con intervalos cada 14 días.

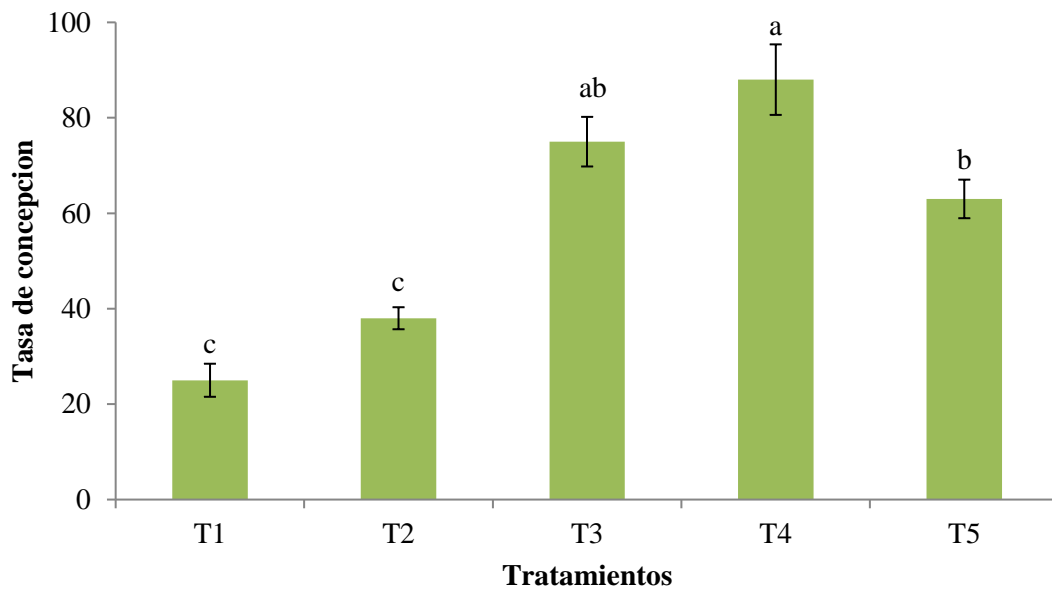


Figura 2. Relación de la condición corporal con la tasa de concepción en respuesta al efecto de la aplicación de PGF2 α a intervalos de 14 días.

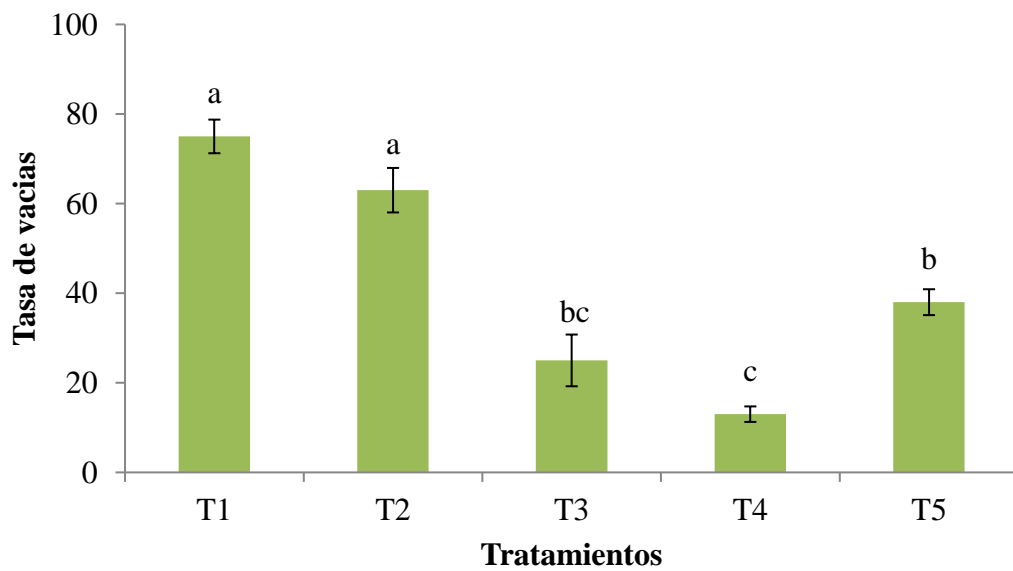


Figura 3. Relación de la condición corporal y la tasa de vacas vacías en respuesta al efecto de la aplicación de PGF2 α a intervalos de 14 días.

4.4 Estimación de costos por vaca sincronizada

Considerando los precios de los hormonales inyectables actualizados el día 05 de noviembre del 2023 en el mercado del estado de Coahuila, México; Se estimaron los cálculos por vaca sincronizada. El precio de Gonaxal 50 ml es de 41.80 USD y el precio de Croniben 20 ml es de 15.78 USD. El costo total de hormonales inyectables utilizados en el protocolo fue de 9.68 USD por vaca sincronizada. El costo por las 40 vacas utilizadas en el experimento de hormonales inyectables fue un total de 387.2 USD. El protocolo planteado en este experimento demostró que se pueden obtener tasas de concepción superiores al 50% con bajos costos relativamente comparados con los resultados obtenidos.

Cuadro 3. Estimación de costos por vaca sincronizada con hormonas inyectables de PGF2 α y GnRH en vacas Charoláis en Coahuila, México.

Hormonales inyectables	Costo por ml (USD)	Dosis (ml)	Total de dosis administradas en el protocolo	Costo por dosis administradas (USD)	Costo por vaca sincronizada (USD)
Gonaxal 50 ml	0.84	2.0	2	3.36	
Croniben 20 ml	0.79	2.0	4	6.32	9.68

V. CONCLUSIONES

Se presenta mayor porcentaje de estros (68 %) a las 72 horas después de la cuarta y última aplicación de PGF2 α .

La condición corporal al momento de realizar la inseminación artificial ejerce una influencia significativa en la tasa de concepción en vacas Charoláis.

Las vacas que presentan condición corporal con puntuación de cinco y seis mostraron porcentajes de concepción superiores al 70 % con el primer servicio.

La aplicación de PGF2 α a intervalos de 14 días puede ocasionar luteólisis, además de ayudar a tener un ciclo estral sincronizado y mejorar la tasa de concepción en vacas Charoláis a un costo menor de 10.0 dólares.

VI. LITERATURA CITADA

Abel, J. M., Bishop, B. E., Thomas, J. M., Ellersieck, M. R., Poock, S. E., Smith, M. F., y Patterson, D. J. (2017). Comparing strategies to synchronize estrus before fixed-time artificial insemination in primiparous 2-year-old beef cows. *Theriogenology*, 87(1), 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.010>

Alcala, G. C. H. (1995). Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. <https://www.patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/P95009.html> [Accesado el 3 de noviembre del 2023].

Alvarez, P., Spicer, L. J., Chase, C. C., Payton, M. E., Hamilton, T. D., Stewart, R. E., Hammond, A. C., Olson, T. A., y Wettemann, R. P. (2000). Ovarian and endocrine characteristics during an estrous cycle in Angus, Brahman, and Senepol cows in a subtropical environment. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1291–1302. <https://doi.org/10.2527/2000.7851291x>

Austin, E. J., Mihm, M., Evans, A. C. O., Knight, P. G., Ireland, J. L. H., Ireland, J. J., y Roche, J. F. (2001). Alterations in intrafollicular regulatory factors and apoptosis during selection of follicles in the first follicular wave of the bovine estrous cycle. *Biology of Reproduction*, 64(3), 839–848. <https://doi.org/10.1095/biolreprod64.3.839>

Bage, R. (1999). Progesterone Levels and Oestrous Expression in Dairy Heifers at the Time of Field Insemination. *Reprod. Dom. Anim.*, 37(1), 109–110.

Baldrighi, J. ., Sá Filho, M. F., Batista, E. O. S., Lopes, R. N. V. R., Visintin, J. A., Baruselli, P. S., y Assumpção, M. E. O. A. (2014). Anti-Mullerian hormone concentration and antral ovarian follicle population in Murrah heifers compared to Holstein and Gyr kept under the same management. *Reproduction in Domestic Animals = Zuchthygiene*, 49(6), 1015–1020. <https://doi.org/10.1111/rda.12430>

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. ., y Sartori, R. (2010). Ovarian

function and circulating hormones in nonlactating Nelore versus Holstein cows. *Acta Sci. Vet.*, 38(1), 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. *Journal of Dairy Science*, 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)

Bo, G. A., Adams, G. P., Pierson, R. A., y Mapletoft, R. J. (1995). Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology*, 43(1), 31–40. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)00010-R](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)00010-R)

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. *Taurus*, 4(14), 10–21.

Bó, G. A., Martínez, M., Nasser, L. F., Caccia, M., Tribulo, H., y Mapletoft, R. . (1993). 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.

Bosolasco, D., Nuñez-Olivera, R., de Brun, V., Meikle, A., y Menchaca, A. (2021). Estradiol cypionate administered at the end of a progesterone-based protocol for FTAI induces ovulation and improves postovulatory luteal function and uterine environment in anestrous beef cows. *Theriogenology*, 162, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.01.003>

Britt, J. H., Hafs, H. D., y Stevenson, J. S. (1978). Estrus in Relation to Time of Administration of Prostaglandin F2 α to Heifers. *Journal of Dairy Science*, 61(4), 513–515. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83628-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83628-5)

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. *Journal of Dairy Science*, 91(3), 1044–1052. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0409>

Brusveen, D. J., Souza, A. H., y Wiltbank, M. C. (2009). Effects of additional prostaglandin F2 α and estradiol-17 β during Ovsynch in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1412–1422. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1289>

Burke, C. R., Mussard, M. L., Gasser, C. L., Grum, D. E., y Day, M. L. (2003). Estradiol benzoate delays new follicular wave emergence in a dose-dependent manner after ablation of the dominant ovarian follicle in cattle. *Theriogenology*, 60(4), 647–658. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00078-5)

Butler, W. R. (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. 60-61, 449–457. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(00\)00076-2](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(00)00076-2)

Canal, L. B., Fontes, P. L. P., Sanford, C. D., Mercadante, V. R. G., DiLorenzo, N., Lamb, G. C., y Oosthuizen, N. (2020). Relationships between feed efficiency and puberty in *Bos taurus* and *Bos indicus*- influenced replacement beef heifers. *Journal of Animal Science*, 98(10), 1-30. <http://dx.doi.org/10.1080/00498254.2020.1737890>

Canty, M. J., Boland, M. P., Evans, A. C. O., y Crowe, M. A. (2006). Alterations in follicular IGFBP mRNA expression and follicular fluid IGFBP concentrations during the first follicle wave in beef heifers. *Animal Reproduction Science*, 93(3–4), 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.06.033>

Carneiro, L. C., y Campos, C. C. (2012). Timed artificial insemination and early diagnosis of pregnancy to reduce breeding season in Nelore beef cows. 44:623–627. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9945-7>

Cavalieri, J., Hepworth, G., Fitzpatrick, L. A., Shephard, R. W., y Macmillan, K. L. (2006). Manipulation and control of the estrous cycle in pasture-based dairy cows. *Theriogenology*, 65(1), 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.005>

Chaudhari, C. F., Suthar, B. N., Sharma, V. K., Dabas, V. S., Chaudhari, N. F., y Panchasara, H. H. (2012). Estrus induction and fertility response in delayed pubertal Kankrej heifers treated with norgestomet ear implant. *Veterinary World*, 5(8), 453–458. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.453-458>

Chauvet, M. (1999). La ganadería bovina de carne en México: del auge a la crisis. Universidad Autónoma Metropolitana. Tesis de doctorado. 1(1),1-206.

Colazo, M. G., Kastelic, J. P., y Mapletoft, R. J. (2003). Effects of estradiol cypionate (ECP) on ovarian follicular dynamics, synchrony of ovulation, and fertility in CIDR-based, fixed-time AI programs in beef heifers. *Theriogenology*, 60(5), 855–865. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00091-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00091-8)

CONABIO, C. N. (2014). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de estado. <https://dev-chm.cbd.int/doc/nbsap/study/mx-study-chihuahua-es.pdf> [Accesado el 10 de diciembre del 2023].

Cooke, R. F., Lamb, G. C., Vasconcelos, J. L. M., y Pohler, K. G. (2021). Effects of body condition score at initiation of the breeding season on reproductive performance and overall productivity of *Bos taurus* and *B. indicus* beef cows. *Animal Reproduction Science*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106820>

Crowe, M. A. (2008). Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 43(5), 20–28. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01210.x>

Crowe, M. A., Padmanabhan, V., Mihm, M., Beitins, I. Z., y Roche, J. F. (1998). Resumption of follicular waves in beef cows is not associated with periparturient changes in follicle-stimulating hormone heterogeneity despite major changes in steroid and luteinizing hormone concentrations. *Biology of Reproduction*, 58(6), 1445–1450. <https://doi.org/10.1095/biolreprod58.6.1445>

Davis, M. E., Turner, T. B., Forry, J. T. T., Boyles, S. L., y Wilson, G. R. (1987). Synchronization of estrus in beef cows and heifers with prostaglandin f2a and estradiol benzoate. 28(3), 275–282. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(87\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0093-691x(87)90014-8)

Díaz, R. C. (2013). Análisis dinámico de la vegetación de los agostaderos de los ranchos ganaderos experimentales Los ángeles, Las Norias y Santa Teresa de la Rueda de la UAAAN ante el cambio climático. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4536>

Diskin, M. G., Austin, E. J., y Roche, J. F. (2002). Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1–2), 211–228. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(02\)00158-3](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(02)00158-3)

Duffy, P., Crowe, M. A., Boland, M. P., y Roche, J. F. (2000). Effect of exogenous LH pulses on the fate of the first dominant follicle in postpartum beef cows nursing calves. *Journal of Reproduction and Fertility*, 118(1), 9–17. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1180009>

Esqueda, C. M. H., Sosa, R. E. E., Chavez, S. A. H., Villanueva, A. F., Lara, del R. M. J., Royo, M. M. H., Sierra, T. J. S., Gonzalez, S. A., y Beltran, L. S. (2011). Ajuste de carga animal en tierras de pastoreo. Manual de capacitación. http://utep.inifap.gob.mx/pdf_s/MANUAL_AJUSTE_DE_CARGA.pdf [Accesado el 22 de diciembre del 2023]

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.

Fetrow, J., Stewart, S., Eicker, S., y Rapnicki, P. (2006). Reproductive Health Programs for Dairy Herds: Analysis of Records for Assessment of Reproductive Performance. In *Current Therapy in Large Animal Theriogenology: Second Edition (Second Edi)*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-072169323-1.50064-7>

Forde, N., Beltman, M. E., Lonergan, P., Diskin, M., Roche, J. F., y Crowe, M. A. (2011). Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 124(3–4), 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.025>

Gamboa-Mena, J. V., Magaña-Magaña, M. ., Rejón-Ávila, M., y Pech Martínez, V. . (2005). Eficiencia económica de los sistemas de producción de carne bovina en el municipio de tizimín, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 5(2), 79–84.

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. *Grassland Science*, 66(4), 277–284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>

Gerland, P., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B. K., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Heiling, G. K., y Wilmoth, J. (2014). World population stabilization unlikely this century. *Science*, 346(6206), 234–237. <https://doi.org/10.1038/42935>

Ginther, O. J., Kastelic, J. P., y Knopf, L. (1989). Composition and Characteristics of Follicular Waves during the Bovine Estrous Cycle. *Anim Reprod Sci.*, 20, 187–200. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90084-5](https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90084-5)

Gong, J. G., Baxter, G., Bramley, T. A., y Webb, R. (1997). Enhancement of ovarian follicle development in heifers by treatment with recombinant bovine somatotrophin: A dose-response study. *Journal of Reproduction and Fertility*, 110(1), 91–97. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1100091>

Gonzalez, D. J. L. (2004). Colonización espacio - temporal de perrito llanero (*Cynomys mexicanus*) en relación al paisaje en el rancho los ángeles. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.

Guaqueta, H. (2009). Ciclo estral: Fisiología básica y estrategias para mejorar la detección de celos. *Rev. Med. Vet. Zoot*, 56(3), 163–183.

Guerrero, C. M. (2008). Valor nutricional de forrajes nativos del norte de México universidad autónoma de nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/20865/1/1020164012.pdf>

Gutiérrez, L., Rodríguez, T., Martínez, T., Aguirre, C., y Sánchez, G. R. (2012). Bancos de Proteína para Rumiantes en el Semiárido Mexicano. In Folleto Técnico Número 47. <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/bancpro.pdf>

Haile, S. M., Abebe, B. K., y Tesfa, T. W. (2023). Efficiency evaluation of two estrus synchronization protocols in estrus response and conception rate of dairy cows in the Dalocha district, Ethiopia. *Heliyon*, 9(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12781>

Herrera, A., y Pamanes, G. D. (2010). Guía de pastos de Zacatecas. Instituto Politecnico Nacional, 1 (1). [Accesado el 2 de enero del 2024]

Hess, B. W., Lake, S. L., Scholljegerdes, E. J., Weston, T. R., Nayigihugu, V., Molle, J. D. C., y Moss, G. E. (2005). Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science*, 83(13), 90–106. https://doi.org/https://doi.org/10.2527/2005.8313_supplE90x

Islam, R. (2011). Synchronization of estrus in cattle: A review. *Veterinary World*, 4(3), 136–141. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2011.136-141>

Jurado, G., Velázquez, M., Sánchez, G. R., Álvarez, H., Domínguez, M. P., Gutiérrez, L., Garza, C. R., Luna, L., y Chávez, R. M. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12, 261–285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>

Kemp, D. R., Guodong, H., Xiangyang, H., Michalk, D. L., Fujiang, H., Jianping, W., y Yingjun, Z. (2013). Innovative grassland management systems for environmental and livelihood benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(21), 8369–8374. <https://doi.org/10.1073/pnas.1208063110>

Larson, R. L. (1999). Synchronization of Estrus. University of Missouri. 495-498.

Mackey, D. R., Wylie, A. R. G., Sreenan, J. M., Roche, J. F., y Diskin, M. G. (2000). The effect of acute nutritional change on follicle wave turnover, gonadotropin, and steroid concentration in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 78(2), 429–442. <https://doi.org/10.2527/2000.782429x>

Macmillan, K. L. (2010). Recent Advances in the Synchronization of Estrus and Ovulation in Dairy Cows. *Journal of Reproduction and Development*, 56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1262/jrd.1056s42>

Macmillan, K. L., y Asher, G. W. (1990). Developments in artificial insemination and controlled breeding in dairy cattle and deer in New Zealand. *New Zealand Society of Animal Production*, 50, 123–133. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056s42>

Macmillan, K. L., y Day, A. M. (1982). Prostaglandin F_{2α} - A fertility drug in dairy cattle? *Theriogenology*, 18(3), 245–253. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(82\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0093-691X(82)90001-2)

Mallory, D. A., Wilson, D. J., Busch, D. C., Eilersieck, M. R., Smith, M. F., y Patterson, D. J. (2010). Comparison of long-term progestin-based estrus synchronization protocols in beef

heifers. *Journal of Animal Science*, 88(11), 3568–3578. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3084>

Martín, R. M. (1990). Manejo integral de praderas de zacate buffel y su importancia en los agostaderos. *32*, 23–25. <https://www.patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/P90009.html> [Accesado el 27 de diciembre del 2023].

Medina, T. J. G. (1972). Contribución al estudio al estudio ecológico y control del perrito de la pradera mexicana (*Cynomys mexicanus* Merriam) en el rancho demostrativo Los Angeles propiedad de la Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro de la Universidad de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad de Coahuila. Buenavista, Saltillo, Coah., México, 14, 109.

Miettinen, P. V. A. (1990). Uterine Involution in Finnish Dairy Cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 31(2), 181–185. <https://doi.org/10.1186/BF03547560>

Molina, M. V. M. (2005). Caracterización de los Sistemas de Producción de Ganado Bovino en Tierra Caliente del Estado de Michoacán. tesis de posgrado. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5675

Morales, N. C., Madrid, P. L., Melgoza, C. A., Martínez, S. . . , Arrevalo, G. S., Rascon, C. Q., y Jurado, G. P. (2009). Análisis morfológico de la diversidad del pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (Willd . ex Kunth) Lag . ex Steud .], en Chihuahua , México Morphological analysis of blue grama grass [*Bouteloua gracilis*],47, (3), 245-256.

Moreira, F., Orlandi, C., Risco, C. A., Mattos, R., Lopes, F., y Thatcher, W. W. (2001). Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84 (7), 1646–1659. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74600-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74600-0)

Mukasa-Mugerwa, E. (1989). A Review of Reproductive Performance of Female *Bos Indicus* (Zebu) Cattle,1 (6), 1-34.

Munro, R. K., y Moore, N. W. (1985). Effects of progesterone , oestradiol benzoate and cloprostenol on luteal function in the heifer. *J. Reprod Fertil.*, 73, 353–359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1530/jrf.0.0730353>

Murphy, M. G., Enright, W. J., Crowe, M. A., McConnell, K., Spicer, L. J., Boland, M. P., y Roche, J. F. (1991). Effect of dietary intake on pattern of growth of dominant follicles during the oestrus cycle in beef heifers. 92(2), 333–338. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0920333>

Nett, T. M. (1987). Function of the hypothalamic-hypophysial axis during the post-partum period in ewes and cows. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, 34 (1), 201–213. <https://doi.org/10.1530/biosciproc.9.015>

Niswender, G. D., Juengel, J. L., McGuire, W. J., Belfiore, C. J., y Wiltbank, M. C. (1994). Luteal function: The estrous cycle and early pregnancy. *Biology of Reproduction*, 50(2), 239–247. <https://doi.org/10.1095/biolreprod50.2.239>

Odde, K. G. (1990). A review of Synchronization of estrus in postpartum cattle. *Journal of Animal Science*, 68(3), 817–830. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2011.136-141>

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. *Journal of Animal Science*, 81(14), 166–177. https://doi.org/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>

Peter, A. T., Vos, P. L. A. M., y Ambrose, D. J. (2009). Postpartum anestrus in dairy cattle. *Theriogenology*, 71(9), 1333–1342. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.11.012>

Peters, J. B., Welch, J. A., Lauderdale, J. W., y Inskeep, E. K. (1977). Synchronization of estrus in beef cattle with PGF2a and estradiol benzoate. *Journal of Animal Science*, 45(2), 230–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1977.452230x>

Pinheiro, O. L., Barros, C. M., Figueiredo, R. A., Do 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 F₂ α 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)

Prado, R., Rhind, S. M., Wright, I. A., Russel, A. J. F., McMillen, S. R., Smith, A. J., y McNeilly, A. S. (1990). Ovarian follicle populations, steroidogenicity and micromorphology at 5 and 9 weeks post partum in beef cows in two levels of body condition. *Animal Production*, 51(1), 103–108. <https://doi.org/10.1017/S0003356100005195>

Pruitt, R. J., y Momont, P. A. (1987). Effects of body condition on reproductive performance of range beef cows. *South Dakota Beef Report*, Department of Animal and Range Sciences 10 (12), 40-48.

Pursley, J. R., Mee, M. O., y Wiltbank, M. C. (1995). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂ α 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)

Quero, C. A. ., Guiot, G. J. ., Salinas, C. ., Enriquez, Q. J. ., Beltran, L. ., Tovar, G. ., y Cruz, L. . (2014). Guía técnica para la descripción varietal de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.)Torr.]. 2 (1), 1-23.

Randel, R. D., Lammoglia, M. A., Lewis, A. W., Neuendorff, D. A., y Guthrie, M. J. (1996). Exogenous PGF₂ α enhanced GnRH-induced LH release in postpartum cows. *Theriogenology*, 45(3), 643–654. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)00410-A](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00410-A)

Rhodes, F. M., De'ath, G., y Entwistle, K. W. (1995). Animal and temporal effects on ovarian follicular dynamics in Brahman heifers. *Animal Reproduction Science*, 38(4), 265–277. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(94\)01375-V](https://doi.org/10.1016/0378-4320(94)01375-V)

Rincón, C. A., Bueno, G. G. A., Alvarez de Leon, M., Pardo, B. O., Perez, L. O., y Caicedo, G. S. (2010). Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. *Corpoica*. 1 (3), 121-124.

Roche, J. F. (1976). Fertility in cows after treatment with a prostaglandin analogue with or without progesterone. *Journal of Reproduction and Fertility*, 46(2), 341–345. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0460341>

Roche, J. R., Macdonald, K. A., Burke, C. R., Lee, J. M., y Berry, D. P. (2007). Associations among body condition score, body weight, and reproductive performance in seasonal-calving dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 376–391. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)72639-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)72639-5)

Roque, J. S. (2015). Caracterización estructural del hojaseñ (Flouencia cernua) y especies asociadas como sustrato de anidación del Gorrión de Worthen (*Spizella wortheni*) en el Rancho Los Ángeles, Saltillo, Coahuila, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Rosete, F. J. V., Alvarez, G. H., Urban, D. D., Fragoso, I. A., Aspron, P. M. A., Rios, U. A., Perez, R. S., y De La Torre, S. J. F. (2021). Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Rev. Mex. de Cienc. Pecu.*, 12(3), 39–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5918>

Rowson, L. E., Tervit, R., y Brand, A. (1972). The use of prostaglandin for synchronization of oestrus in cattle. *J. Reprod. Fertil.*, 29, 145–154.

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. *Journal of Dairy Science*, 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)

Savio, J. D., Boland, M. P., Hynes, N., y Roche, J. F. (1990). Resumption of follicular activity in the early post-partum period of dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 88(2), 569–579. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0880569>

Savory, A. (2000). Preventing Wildfires through Proper Management of the National Forests Oversight Hearing conducted by the House Subcommittee on Forests and Forest Health August 14, 2000, Albuquerque, New Mexico Taking a Holistic Approach.12(1), 1-9.

SEMARNAT. (2003). Superficie afectada por sobrepastoreo. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores16/conjuntob/indicador/03_suelos/3_2.html [Accesado el 2 de enero del 2024].

SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde (Vol. 2015). https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf [Accesado el 5 de enero del 2024].

SEMARNAT. (2018). Regiones ecológico-ganaderas (hectáreas). https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/archivos/02_agrigan/d2_agrigan04_01.pdf [Accesado el 5 de enero del 2024].

Sepulveda, N., y Rodero, E. (2003). Comportamiento sexual durante el estro en vacas lecheras. *Interciencia*, 28(9), 500–503.

Serrato, S. R. (1982). Respuesta del pastizal mediano abierto a diferentes sistemas de pastoreo. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 32–43.

SIAP-SAGARPA. (2020). Avance por Producto Carne en Canal de Bovino. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp [Accesado el 11 de enero del 2024].

SIAP-SAGARPA. (2021). ganadería productiva, sustentable y con fuerte estatus sanitario. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-agricultura-una-ganaderia-productiva-sustentable-y-con-fuerte-estatus-sanitario> [Accesado el 18 de enero del 2024].

SIAP-SAGARPA. (2022a). Escenario mensual de productos agroalimentarios. In *Agricultura* (Vol. 2023, Issue 55). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/653161/Escenario_huevo_jun21.pdf [Accesado el 8 de enero del 2024].

SIAP-SAGARPA. (2022b). Población ganadera: Resumen Nacional. https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/ [Accesado el 10 de enero del 2024].

Sirois, J., y Fortune, J. E. (1990). Lengthening the bovine estrous cycle with low levels of exogenous progesterone: A model for studying ovarian follicular dominance. *Endocrinology*, 127(2), 916–925. <https://doi.org/10.1210/endo-127-2-916>

Southorn, N., y Cattle, S. (2004). The dynamics of soil quality in livestock grazing systems. SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference, December 2004, 1–7.

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. L., Dalton, J. C., Santos, J. E. P., Sartori, R., Ahmadzadeh, A., y Chebel, R. C. (2008). Effect of synchronization protocols on follicular development and estradiol and progesterone concentrations of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3045–3056. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0625>

Susilorini, T. E., Wulan, P. P., y Suyadi, S. (2019). Dairy breeding management: the effect of body weight on conception rate of yearling heifer with PGF2 induced estrus following artificial insemination. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 372(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/372/1/012034>

Twagiramungu, H., Guilbault, L. A., y Dufour, J. J. (1995). Synchronization of ovarian follicular waves with a gonadotropin-releasing hormone agonist to increase the precision of estrus in cattle: a review. *Journal of Animal Science*, 73(10), 3141–3151. <https://doi.org/10.2527/1995.73103141x>

USDA. (2023). *Livestock and Products Annual, Mexico*. August 03, 2023 Report. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock and Products Annual Mexico City Mexico MX2023-0040.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock%20and%20Products%20Annual%20Mexico%20City%20Mexico%20MX2023-0040.pdf) [Accesado el 15 de enero del 2024].

Valente, G. A. (2013). Los zacates (familia poaceae) del rancho “los ángeles”, municipio de Sotillo, Coahuila identificación por características vegetativas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.

Weems, C. W., Weems, Y. S., y Randel, R. D. (2006). Prostaglandins and reproduction in female farm animals. *Veterinary Journal*, 171(2), 206–228. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.11.014>

Wiltbank, J. N., Rowden, W. W., Ingalls, J. E., Gregory, K. E., y Koch, R. M. (1962). Effect of energy level on reproductive phenomena of mature hereford cows. *Journal of Animal Science*, 21(2), 219–225. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1962.212219x>

Wiltbank, J. N., Rowden, W. W., Ingalls, J. E., y Zimmerman, D. R. (1964). Influence of post-partum energy level on reproductive performance of hereford cows restricted in energy intake prior to calving. 23(4), 1049–1053. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1964.2341049x>

Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Cochrane, F., Barletta, R. V., Trayford, C. R., y Joseph, R. T. (2015). Effect of a second treatment with prostaglandin F_{2α} during the Ovsynch protocol on luteolysis and pregnancy in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8644–8654. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9353>

Wright, P. J., y Malmo, J. (1992). Pharmacologic manipulation of fertility. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 8(1), 57–89. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30760-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30760-X)

VII. ANEXOS

Figura 4. Aplicación de cuatro dosis de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a intervalo de 14 días y dos dosis de GnRH aplicadas al inicio del protocolo en el día cero y al momento de la inseminación artificial en vacas raza charolais.

