

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**EFICACIA REPRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE DOS PROTOCOLOS
HORMONALES DE SINCRONIZACIÓN DE CELO EN VACAS EN ANESTRO,
BONITO ORIENTAL, COLÓN**

POR:

MAUDY SARAÍ ARGUETA QUINTERO

TESIS



CATACAMAS,

OLANCHO

NOVIEMBRE, 2025

**EFICACIA REPRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE DOS PROTOCOLOS
HORMONALES DE SINCRONIZACIÓN DE CELO EN VACAS EN ANESTRO,
BONITO ORIENTAL, COLÓN**

POR:

MAUDY SARAÍ ARGUETA QUINTERO

JOSÉ FRANCISCO AGUIRIANO SÁNCHEZ

Asesor Principal

**TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
MEDICINA VETERINARIA**

CATACAMAS,

OLANCHO

NOVIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

Catacamas, Olancho

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros del Comité Evaluador del informe Final de Investigación certificamos que:

La estudiante **Maudy Sarai Argueta Quintero** del VI Año de Medicina Veterinaria presentó su informe titulado:

**EFICACIA REPRODUCTIVA Y ECONÓMICA DE DOS PROTOCOLOS
HORMONALES DE SINCRONIZACIÓN DE CELO EN VACAS EN ANESTRO,
BONITO ORIENTAL, COLÓN**

El cual, a criterio de los evaluadores, _____ el presente trabajo de investigación como requisito previo para optar al título de Médico Veterinario.

Dado en la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho, a los 03 días del mes de diciembre del año dos mil veinticinco.

M.Sc. José Francisco Aguiriano

Asesor Principal

M.Sc. Marvin Noé Flores

Asesor Auxiliar

DMV. Carlos Guillermo Melgar

Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

Dedico este trabajo **a Dios**, fuente de sabiduría, fortaleza y guía en cada paso de mi formación profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, pilares fundamentales en la construcción de mis valores y en la consecución de este logro académico.

A mi familia, por su comprensión, paciencia y aliento durante las etapas más exigentes de este proceso.

Finalmente, a **todas las personas** que, con su ejemplo, consejo o colaboración, contribuyeron de manera significativa al cumplimiento de este objetivo.

AGRADECIMIENTO

A la **Universidad Nacional de Agricultura**, por abrirme las puertas al conocimiento y brindarme las herramientas académicas que hicieron posible mi formación como médico veterinario. Extiendo un reconocimiento especial a **todos los docentes** que, con dedicación y compromiso, contribuyeron a mi desarrollo académico y personal a lo largo de esta carrera.

A **Heifer International Honduras**, institución donde tuve la oportunidad de realizar mi servicio social y desarrollar el trabajo de investigación, agradezco profundamente por la confianza depositada, la guía técnica, la valiosa colaboración en la provisión de los insumos necesarios para la ejecución del estudio y el acompañamiento brindado durante todo el proceso.

Mi gratitud también hacia los doctores veterinarios **Anthony René Ramos** y **Juan Carlos Solís** por su apoyo tanto profesional como personal, por sus enseñanzas prácticas y su disposición constante para compartir conocimientos que enriquecieron significativamente esta experiencia. A mi amigo **Elvin Martínez**, por su apoyo incondicional, orientación técnica y compañerismo a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento al doctor veterinario **José Francisco Aguiriano**, asesor de tesis, por su acompañamiento durante la etapa final de este trabajo académico.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	2
2.1.	General	2
2.2.	Específicos	2
III.	HIPÓTESIS	3
3.1.	Hipótesis nula.....	3
3.2.	Hipótesis alterna.....	3
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1.	Bases fisiológicas de la reproducción bovina	4
4.2.	Anestro posparto	4
4.3.	Tecnologías reproductivas aplicadas en vacas en anestro	5
4.4.	Hormonas utilizadas en protocolos de sincronización	6
4.5.	Factores que modulan la respuesta a la sincronización	6
4.6.	Protocolos en vacas en anestro	7

4.7. Enfoque utilizado en este estudio	7
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1. Ubicación de la investigación	9
5.2. Materiales y equipo.....	10
5.3. Diseño del estudio.....	10
5.4. Población y criterios de selección.....	11
5.4.1. Tonificación previa	11
5.5. Aplicación de protocolos hormonales.....	12
5.6. Variables evaluadas	14
5.6.1. Manifestación de celo.....	14
5.6.2. Tasa de ovulación.....	15
5.6.3. Tasa de concepción	15
5.6.4. Costo por vaca gestante.....	15
5.7. Análisis estadístico.....	16
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
6.1. Manifestación de celo	17
6.2. Tasa de ovulación	18
6.3. Tasa de concepción.....	20
6.4. Seguimiento de las vacas no gestantes.....	21
6.5. Costo por vaca gestante	23

VII. CONCLUSIONES.....	25
VIII. RECOMENDACIONES	26
IX. BIBLIOGRAFÍA	28
X. ANEXOS	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Preparación metabólica previa a la implementación de los protocolos	12
Tabla 2. Protocolo I (con pre-inducción).....	13
Tabla 3. Protocolo II (sin pre-inducción)	14
Tabla 4. Costo individual por vaca para cada protocolo	23
Tabla 5. Costo total y costo por vaca gestante según protocolo	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las fincas El Diamante y La Vega	9
Figura 2. Porcentaje de vacas con manifestación de celo según protocolo hormonal	17
Figura 3. Porcentaje de vacas ovuladas según protocolo hormonal	19
Figura 4. Porcentaje de concepción obtenida según protocolo hormonal	20

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Selección de la población mediante palpación transrectal y evaluación ecográfica.....	31
Anexo 2. Administración del complejo vitamínico AD ₃ E con Se y P como preparación metabólica previo a la implementación de los protocolos.....	31
Anexo 3. Colocación del DIB y aplicación de benzoato de estradiol al Protocolo I (pre-inducción)	32
Anexo 4. Retiro del DIB al protocolo I (pre-inducción)	32
Anexo 5. Colocación del DIB y administración de benzoato de estradiol a ambos protocolos (sincronización)	32
Anexo 6. Retiro del DIB y administración de PGF ₂ α , eCG y ECP a ambos protocolos (sincronización)	33
Anexo 7. Ejecución de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo 48 horas posteriores al retiro del DIB.....	33
Anexo 8. Evaluación ecográfica de la ovulación a los 14 días posteriores a la IATF	33
Anexo 9. Diagnóstico de preñez por ultrasonografía transrectal a los 40 días posteriores a la IATF	34

GLOSARIO

IGF-1: Factor de Crecimiento Similar a la Insulina tipo 1.

DIB: Dispositivo Intravaginal Bovino.

EB: Benzoato de Estradiol.

ECP: Cipionato de Estradiol.

PGF2 α : Cloprostenol Sódico.

eCG: Gonadotropina Coriónica Equina.

IATF: Inseminación Artificial a Tiempo Fijo.

GnRH: Hormona Liberadora de Gonadotropina.

FSH: Hormona Folículo Estimulante.

LH: Hormona Luteinizante.

CL: Cuerpo Lúteo.

P4: Progesterona.

Argueta Quintero, M.S.2025. Eficacia reproductiva y económica de dos protocolos hormonales de sincronización de celo en vacas en anestro, Bonito Oriental, Colón. Tesis MV. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Honduras pág. 47

RESUMEN

El estudio se realizó en dos fincas atendidas por el programa de ganadería sostenible de Heifer International Honduras, en Bonito Oriental, Colón. El Objetivo fue evaluar la eficacia reproductiva y económica de dos protocolos hormonales de sincronización de celo en vacas en anestro. Se seleccionaron 28 vacas distribuidas en dos grupos: Protocolo I (con pre-inducción) y Protocolo II (sin pre-inducción). Previo al desarrollo de los protocolos se realizó una preparación metabólica mediante la administración secuencial de minerales y vitaminas. Ambos protocolos incluyeron DIB con progesterona, estradiol, prostaglandina $F_{2\alpha}$ y gonadotropina coriónica equina, la inseminación artificial a tiempo fijo se ejecutó 48 horas después del retiro del dispositivo intravaginal. Se evaluaron la manifestación de celo, la tasa de ovulación, la tasa de concepción y el costo por vaca gestante. El Protocolo II obtuvo mejores resultados en manifestación de celo (92.9% vs 64.3%) y mayor tasa de concepción (28.6% vs 14.3%), mientras que el Protocolo I mostró una ovulación ligeramente superior (78.6% vs 64.3%), sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Económicamente, el Protocolo II fue más eficiente con 4,444.09 Lps por vaca gestante frente a 10,862.04 Lps en el Protocolo I, lo que demuestra que la sincronización sin pre-inducción es más eficaz reproductiva y económicamente bajo condiciones tropicales.

Palabras Claves: Anestro, tonificación, pre-inducción, sincronización, IATF.

I. INTRODUCCIÓN

La reproducción bovina es un componente esencial para la productividad y sostenibilidad de los sistemas ganaderos, especialmente en regiones tropicales donde factores como el estrés térmico y la variabilidad nutricional afectan la fertilidad. En este contexto, los protocolos hormonales de sincronización y la inseminación artificial a tiempo fijo representan herramientas clave para mejorar la eficiencia reproductiva y acelerar el progreso genético en los hatos.

Sin embargo, el anestro posparto continúa siendo una de las principales limitantes, pues retrasa la reanudación de la actividad ovárica e interfiere en los indicadores reproductivos, generando pérdidas económicas. Además, existe debate técnico sobre la efectividad de incluir una fase de pre-inducción en los protocolos hormonales, ya que podría mejorar la sensibilidad endocrina o, por el contrario, comprometer la calidad folicular y reducir las tasas de concepción, por lo que hace necesaria su evaluación.

Con base en ello, este estudio se orientó a comparar la eficacia reproductiva y económica de dos protocolos con y sin pre-inducción en vacas en anestro posparto, con el propósito de generar evidencia aplicable a los sistemas productivos. Los resultados obtenidos permiten fundamentar decisiones técnicas que optimicen la inversión, incrementen la eficiencia reproductiva y fortalezcan la sostenibilidad de los programas de ganadería.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Comparar la eficacia reproductiva y económica de dos protocolos hormonales de sincronización de celo en vacas en anestro, en dos fincas del municipio Bonito Oriental, Colón.

2.2. Específicos

Medir los efectos inducidos por los protocolos de sincronización sobre la manifestación de celo y la tasa de ovulación, mediante la observación de signos externos de celo y diagnóstico ecográfico respectivamente.

Determinar los porcentajes de concepción para cada lote de vacas, según el protocolo de sincronización de celo aplicado, haciendo uso de la ultrasonografía transrectal.

Establecer el costo por vaca gestante derivado de la implementación de cada protocolo de sincronización de celo con base en los insumos utilizados y la eficacia reproductiva obtenida.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis nula

No existe una diferencia significativa entre el protocolo I y el protocolo II con respecto a su eficacia reproductiva y económica en vacas en anestro.

3.2. Hipótesis alterna

Sí existe una diferencia significativa entre el protocolo I y el protocolo II con respecto a su eficacia reproductiva y económica en vacas en anestro.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Bases fisiológicas de la reproducción bovina

La función reproductiva de la vaca está regulada por la interacción secuencial del eje hipotálamo-hipófisis-ovario. Este sistema controla la secreción de GnRH, la liberación hipofisaria de FSH y LH, y la dinámica folicular resultante. Según Senger (2015), la emergencia y selección de un folículo dominante dependen del equilibrio entre FSH circulante y la sensibilidad del folículo a LH, proceso que determina la competencia ovocitaria y la capacidad de ovulación. Ginther (1992) describe que las vacas presentan de dos a tres ondas foliculares por ciclo, y que la ovulación solo ocurre cuando el folículo dominante coincide con concentraciones elevadas de LH previas al estro.

La progesterona desempeña un papel central en la regulación del ciclo, suprimiendo la liberación de GnRH y evitando la ovulación durante la fase lútea. Wiltbank *et al.* (2016) explica que el retiro abrupto de progesterona permite la reanudación de pulsos de LH y, con ello, la culminación del desarrollo folicular. Esta fisiología constituye el fundamento para el uso de dispositivos intravaginales de progesterona en protocolos de sincronización.

4.2. Anestro posparto

El anestro posparto ocurre cuando la vaca no presenta actividad ovárica cíclica después del parto. Lucy (2001) señala que el principal determinante es el balance energético negativo, el cual afecta la producción de IGF-1 (Factor de Crecimiento Similar a la Insulina tipo 1) y reduce la frecuencia de pulsos de GnRH. En consecuencia, disminuye la liberación de LH y se inhibe la emergencia de folículos dominantes. En regiones tropicales, este proceso se intensifica debido al estrés calórico y a la variabilidad en la calidad del forraje disponible.

En razas cebuinas, la prolongación del anestro es más frecuente debido a su sensibilidad metabólica y a patrones fisiológicos adaptados a condiciones de alta temperatura. De acuerdo con Bó y Baruselli (2014), la prevalencia del anestro profundo puede superar el 40% en sistemas de doble propósito extensivos, donde la suplementación nutricional es limitada. La valoración ecográfica del ovario es fundamental para diferenciar entre anestro verdadero y anestro con actividad folicular subclínica. Pierson y Ginther (1988) enfatizan que la ecografía transrectal es el método más exacto para identificar folículos, cuerpos lúteos y estructuras anormales en vacas posparto.

4.3. Tecnologías reproductivas aplicadas en vacas en anestro

La inseminación artificial ha sido un pilar de mejora genética y control sanitario en bovinos. Bearden y Fuquay (2000) destacan que, al permitir el uso de toros de alto mérito, la inseminación artificial acelera el progreso genético y disminuye la transmisión de enfermedades venéreas. Sin embargo, la dependencia de la detección de celo limita su eficacia en vacas en anestro o en sistemas extensivos.

La Inseminación Artificial a Tiempo Fijo surgió como solución a esa limitación, permitiendo sincronizar la ovulación de manera farmacológica. Baruselli *et al.* (2004) demostraron que los protocolos basados en progesterona, estradiol, eCG y prostaglandinas estandarizan el momento de la ovulación y permiten inseminar grandes grupos sin identificar el estro. En

vacas en anestro, la IATF reduce el intervalo parto-concepción y mejora la eficiencia reproductiva en comparación con la inseminación basada en detección de celo.

4.4.Hormonas utilizadas en protocolos de sincronización

La progesterona exógena es el eje de los programas de sincronización en vacas en anestro. Al mantenerse niveles elevados de progesterona mediante un dispositivo intravaginal, se inhibe la ovulación y se uniformiza la dinámica folicular. Lucy (2001) explica que el retiro del dispositivo permite aumentar los pulsos de LH y sincronizar la ovulación. El uso de estradiol es común en protocolos basados en progesterona; el benzoato de estradiol promueve la regresión folicular y la emergencia de una nueva onda, mientras que el cipionato de estradiol induce el pico preovulatorio de LH. Baruselli *et al.* (2004) mostraron que esta secuencia optimiza la sincronía folicular.

La prostaglandina $F_{2\alpha}$ es esencial para asegurar la luteólisis en vacas con cuerpos lúteos activos. Patterson *et al.* (2011) señalaron que su aplicación garantiza que todos los animales lleguen al momento de la inseminación con una condición fisiológica homogénea. La gonadotropina coriónica equina posee actividad FSH y LH, estimulando el crecimiento folicular y la ovulación, especialmente en vacas en anestro profundo. Baruselli *et al.* (2006) demostraron que su inclusión incrementa la tasa de ovulación y mejora la fertilidad. La GnRH, administrada antes de la inseminación, induce la ovulación del folículo dominante presente. Vasconcelos *et al.* (1999) concluyeron que su uso es particularmente útil cuando la expresión de celo es baja o silenciosa.

4.5. Factores que modulan la respuesta a la sincronización

La condición corporal es uno de los factores que mejor predice la respuesta ovárica. Baruselli *et al.* (2006) documentaron que vacas con condición corporal por debajo de 2.75 presentan tasas menores de celo, ovulación y concepción debido a una actividad endocrina insuficiente. El estrés calórico también afecta la función reproductiva al reducir el flujo sanguíneo uterino y alterar la dinámica folicular. Senger (2015) indica que temperaturas elevadas disminuyen la calidad ovocitaria y reducen la competencia del cuerpo lúteo.

En razas Bos indicus la respuesta a protocolos hormonales suele diferir de la observada en razas Bos taurus. Pereira *et al.* (2014) reportaron que los folículos de hembras cebuinas son más sensibles a la supresión prolongada de LH, lo que puede explicar diferencias en la competencia folicular tras protocolos extensos de progesterona. Estas variaciones justifican la necesidad de evaluar protocolos adaptados a las condiciones fisiológicas y ambientales de cada región.

4.6. Protocolos en vacas en anestro

La combinación de progesterona, estradiolos, eCG y prostaglandina es eficaz para inducir actividad ovárica en vacas en anestro. Sales *et al.* (2011) reportaron mejoras significativas en la tasa de preñez en sistemas tropicales de Brasil utilizando este enfoque. En Argentina, Bó *et al.* (2003) observaron que estos protocolos son especialmente beneficiosos en vacas con anestro profundo. En contraste, estudios que evaluaron pre-inducciones prolongadas han reportado respuestas heterogéneas. Pereira *et al.* (2014) encontraron que ciertos esquemas pueden generar folículos subcompetentes, mientras que Bó y Baruselli (2014) mostraron que algunos animales sí mejoran su sensibilidad endocrina tras una exposición previa a progesterona.

4.7. Enfoque utilizado en este estudio

Comparar protocolos con y sin pre-inducción hormonal es relevante porque cada estrategia plantea ventajas y riesgos fisiológicos. Protocolos prolongados pueden restablecer la sensibilidad endocrina en vacas severamente anéstricas, pero también pueden inducir folículos con menor competencia ovulatoria. La sincronización directa, por otro lado, reduce el tiempo del tratamiento y la exposición hormonal, aunque su eficacia puede depender del grado de inactividad ovárica. Evaluar estos esquemas bajo condiciones tropicales de producción, como las de Bonito Oriental, permite determinar cuál de ellos ofrece mejores resultados reproductivos y económicos, ofreciendo evidencia útil para la toma de decisiones en ganaderías de doble propósito.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación de la investigación

La investigación se llevó a cabo entre julio y octubre de 2025 en dos fincas atendidas por el Programa de Ganadería Sostenible de Heifer Internacional Honduras, ubicadas en el municipio de Bonito Oriental, Colón. Las fincas El Diamante ($15^{\circ}36'41.65''\text{N}$, $85^{\circ}43'13.31''\text{O}$) y La Vega ($15^{\circ}36'37.60''\text{N}$, $85^{\circ}43'36.66''\text{O}$) operan bajo un sistema de doble propósito en condiciones de pastoreo racional, con pasturas mejoradas y suplementación en época seca. La región presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas medias de $28\text{--}33^{\circ}\text{C}$ y precipitación anual entre $1,200\text{--}1,600\text{ mm}$, condiciones que influyen directamente en el balance energético posparto, la disponibilidad forrajera y la actividad ovárica de las vacas.



Figura 1. Ubicación geográfica de las fincas El Diamante y La Vega

Google Earth (2025)

5.2. Materiales y equipo

El estudio empleó compuestos minerales de Cu, Zn, Mn, Se, P y vitaminas AD₃E para la preparación metabólica. La implementación de los protocolos incluyó dispositivos intravaginales (1 gr P4) y su aplicador, benzoato de estradiol, prostaglandina F₂ α , gonadotropina coriónica equina, cipionato de estradiol jeringas, agujas guantes de látex y nevera para la conservación de hormonas.

Para la evaluación inicial, evaluación de la ovulación y la preñez, se utilizó un ecógrafo portátil SIUI con sonda transrectal de 7.5 MHz, y guantes de palpación. El desarrollo de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo incluyó termo criogénico con nitrógeno líquido, pajuelas de semen, vaso descongelador con agua a 35–37 °C, termómetro, cortapajuelas, pistolas de inseminación y camisas sanitarias. Para la toma de registros se utilizó papel y lápiz.

Como recurso animal se dispuso de 28 vacas de doble propósito Bos indicus x Bos taurus. El recurso humano estuvo integrado por la persona responsable del estudio, un médico veterinario, dos técnicos en inseminación artificial y personal de apoyo para manejo y sujeción de animales.

5.3. Diseño del estudio

Se utilizó un diseño experimental comparativo con dos grupos paralelos, cada vaca constituyó una unidad experimental. La comparación se centró en evaluar dos estrategias hormonales: un protocolo con fase previa de pre-inducción y un protocolo convencional sin

pre-inducción. El diseño fue prospectivo y controlado, orientado a medir el impacto fisiológico y económico de cada protocolo reproductivo.

5.4. Población y criterios de selección

La población bovina a evaluar fue de 98 vacas de doble propósito, distribuidas en las dos fincas. Se seleccionaron 28 hembras con cruces de Brahman/Pardo Suizo, Brahman/Holstein y Gyr que cumplieran criterios estrictos de inclusión, entre ellos vacas multíparas, condición corporal igual o superior a 2.75 (escala de 1 a 5), más de 45 días posparto, ausencia de cuerpo lúteo funcional, ausencia de folículos o presencia de folículos en tamaños menores a 8 mm y libres de alteraciones reproductivas significativas. Estas características fueron confirmadas mediante evaluación transrectal y ecografía.

Las vacas eran mantenidas bajo un sistema de alimentación de pastoreo racional con potreros subdivididos mediante cercas eléctricas, utilizando como base forrajera *Urochloa híbrido CIAT 36087*. De forma complementaria se ofrecía pasto de corte fresco *Pennisetum purpureum* cv. *Camerún* y *Digitaria swazilandensis* en el comedero. La dieta se suplementaba con ensilaje de maíz, concentrado al 22% de proteína, sales minerales y agua limpia ad libitum.

5.4.1. Tonificación previa

La tonificación inició el mismo día en que se realizó la selección de las vacas. Ese día se aplicó el primer compuesto mineral a base de Cu, Zn, Mn y Se con el fin de mejorar la disponibilidad de micronutrientes esenciales para la función ovárica, 15 días después se administró el segundo compuesto de vitaminas AD₃E con Se y P. Una vez aplicados ambos suplementos, se esperaron siete días adicionales antes de iniciar el Protocolo I, con el objetivo

de permitir que la modulación metabólica ejerciera su efecto sobre la actividad endocrina posparto. Este procedimiento garantizó que todas las vacas iniciaran los tratamientos hormonales en condiciones fisiológicas comparables, reduciendo la variabilidad atribuible al estado metabólico.

Tabla 1. Preparación metabólica previa a la implementación de los protocolos

DÍA	ACTIVIDAD	PRODUCTO APLICADO	DOSIS
0	Selección de población y administración de compuesto mineral	Cu, Zn, Mn, Se	5ml/vaca
15	Administración de compuesto vitamínico-mineral	AD ₃ E + Se y P	10ml/vaca

Nota. Las dosis se administraron de forma subcutánea.

5.5. Aplicación de protocolos hormonales

Los dos protocolos hormonales utilizados en esta investigación emplearon dispositivos intravaginales de liberación controlada de progesterona en combinación con benzoato de estradiol, gonadotropina coriónica equina, prostaglandina F₂ α y cipionato de estradiol. La diferencia fundamental entre los tratamientos radicó en la presencia o ausencia de una fase de pre-inducción previa al protocolo convencional.

El protocolo con pre-inducción incorporó una exposición inicial a progesterona y estradiol que antecedió a la sincronización estándar y que buscaba, según su fundamento fisiológico, sensibilizar el eje hipotálamo-hipófisis-ovario en animales con inactividad. En contraste, el esquema sin pre-inducción se enfocó en inducir directamente la emergencia folicular y sincronizar la ovulación.

En el Protocolo I, la fase de pre-inducción hormonal inició 7 días posteriores de finalizar la tonificación, el día 0 se comenzó con la colocación de un dispositivo intravaginal con 1 gr de progesterona y la administración de 2ml de benzoato de estradiol, permaneciendo durante 8 días hasta su retiro. Posterior a este periodo, sin más estímulo de hormonas se esperaron 12 días adicionales para que las vacas se integraran al esquema de sincronización.

En el día 0 para el protocolo I y protocolo II: se colocó un dispositivo intravaginal con 1 g de progesterona y se administró 2ml de benzoato de estradiol, el día 7 se procedió al retiro del dispositivo intravaginal y se aplicaron 2ml de prostaglandina $F_{2\alpha}$, 2ml de gonadotropina coriónica equina y 2ml de cipionato de estradiol para inducir luteólisis, estimular el crecimiento folicular y sincronizar la ovulación.

La inseminación artificial a tiempo fijo se realizó el día 9, respetando un intervalo de 48 horas después del retiro del dispositivo intravaginal. Para la inseminación se utilizaron pajuelas de semen congelado procedentes de distintos toros, las cuales se mantuvieron y manipularon conforme a los estándares de bioseguridad y termorregulación requeridos para preservar su viabilidad espermática.

Es importante señalar que el procedimiento de inseminación no fue ejecutado por un único técnico especializado; por el contrario, participaron dos inseminadores durante el proceso. Esta condición introduce una fuente potencial de variabilidad, dado que no fue posible controlar completamente las diferencias atribuibles a la habilidad individual de cada inseminador, un factor reconocido en la literatura como posible influyente en la tasa de concepción.

Tabla 2. Protocolo I (con pre-inducción)

DÍA	ACTIVIDAD
0	Inserción del DIB (1gr P4) + 2ml de EB
8	Retiro del DIB
12 días adicionales	
0	Inserción del DIB (1gr P4) + 2ml de EB
7	Retiro del DIB + 2ml de PGF ₂ α + 2ml de eCG + 2ml de ECP
9	IATF

Tabla 3. Protocolo II (sin pre-inducción)

DÍA	ACTIVIDAD
0	Inserción del DIB (1gr P4) + 2ml de EB
7	Retiro del DIB + 2ml de PGF ₂ α + 2ml de eCG + 2ml de ECP
9	IATF

5.6. Variables evaluadas

5.6.1. Manifestación de celo

La manifestación de celo se registró durante las 48 horas posteriores al retiro del dispositivo intravaginal de progesterona. La identificación se basó en signos conductuales asociados a la fase estrogénica, tales como inmovilidad al reflejo de monta, incremento en la actividad motora y presencia de moco vulvar. La variable se expresó como proporción de hembras que manifestaron celo respecto al total tratadas en cada protocolo, mediante la fórmula:

$$\frac{\text{Número de vacas con signos evidentes del celo}}{\text{Número total de vacas tratadas}} \times 100$$

5.6.2. Tasa de ovulación

La ovulación se determinó ecográficamente a los 14 días posteriores a la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo, considerando como evento positivo la presencia de cuerpo lúteo funcional. Esta medición permitió establecer si el folículo dominante respondió al tratamiento hormonal con ovulación efectiva. La variable se calculó mediante la fórmula:

$$\frac{\text{Número de vacas con cuerpo lúteo confirmado}}{\text{Número total de vacas evaluadas}} \times 100$$

5.6.3. Tasa de concepción

El diagnóstico de gestación se efectuó 40 días posteriores a la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo por ultrasonografía transrectal, confirmando preñez cuando se observó vesícula embrionaria, embrión viable y contenido intrauterino compatible. Esta variable refleja el éxito final del protocolo en términos de fertilización y establecimiento de la gestación. Su cálculo se realizó mediante:

$$\frac{\text{Número de vacas preñadas}}{\text{Número total de vacas inseminadas}} \times 100$$

5.6.4. Costo por vaca gestante

El costo por vaca gestante se estimó para comparar la eficiencia económica real de ambos protocolos. Para ello se consideró el costo total invertido en insumos para cada protocolo y

se dividió entre el número de vacas preñadas bajo dicho protocolo. Su cálculo se expresó como:

$$\frac{\text{Costo total por protocolo}}{\text{Número de vacas preñadas por protocolo}}$$

5.7. Análisis estadístico

Los datos se organizaron por tratamiento (Protocolo I vs. Protocolo II) y por variable de resultado (manifestación de celo, ovulación, preñez). Las variables dicotómicas se presentaron como frecuencias absolutas y porcentajes. Para la comparación entre protocolos se emplearon pruebas de independencia: χ^2 de Pearson; cuando alguna frecuencia esperada fue <5 se aplicó la prueba exacta de Fisher. Se calcularon medidas de asociación y magnitud del efecto: razón de momios (odds ratio, OR) con su intervalo de confianza al 95%, riesgo relativo (RR) y el V de Cramér para estimar la fuerza de la asociación en tablas de contingencia.

La significancia se evaluó a $\alpha = 0.05$. Además, se reportan p-valores exactos y tamaños del efecto para interpretar relevancia biológica en muestras pequeñas. Para el análisis económico se calculó el costo por vaca gestante dividiendo el costo total del protocolo entre el número de vacas preñadas por protocolo; los costos se expresan en lempiras (Lps).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Manifestación de celo

La manifestación de celo fue más alta en el Protocolo II, 92.9% (13/14 vacas) en contraste con 64.3% (9/14 vacas) en el Protocolo I. Aunque la diferencia no alcanzó significancia estadística ($p=0.165$), el tamaño del efecto ($OR=7.22$) evidencia que, en términos prácticos, la probabilidad de observar celo fue considerablemente mayor en el grupo de vacas que no recibió pre-inducción.

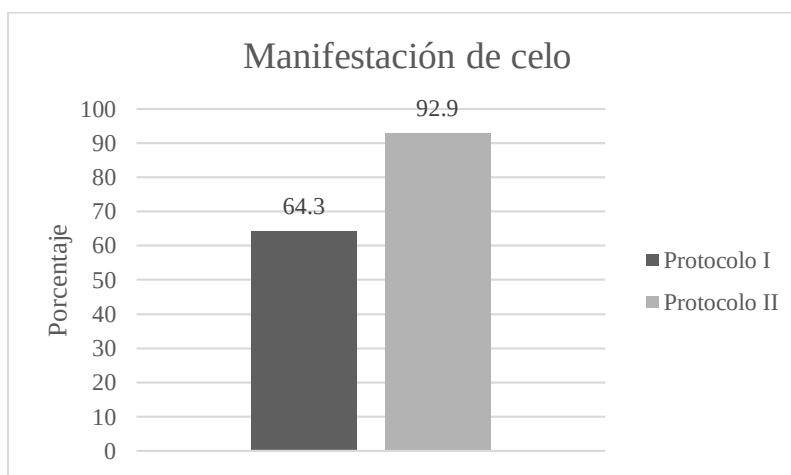


Figura 2. Porcentaje de vacas con manifestación de celo según protocolo hormonal

Se evidencia un patrón biológicamente relevante que coincide con estudios que han descrito que exposiciones prolongadas a progesterona pueden disminuir el estro visible debido a la supresión sostenida de LH. Baruselli *et al.* (2006) reportaron que la expresión de celo en vacas Bos indicus sometidas a protocolos P4-EB oscila entre 60% y 80%, valores similares a los obtenidos en el Protocolo I y claramente inferiores al 92.9% del Protocolo II. Asimismo, Sales *et al.* (2011) documentaron que la combinación de P4, EB y eCG incrementa la manifestación de celo hasta 85%, reflejando que el valor observado en el Protocolo II supera incluso los rangos máximos reportados en sistemas tropicales.

En Brasil, Ayres *et al.* (2008) obtuvieron 75.4% de estro visible tras protocolos cortos de progesterona, indicando que protocolos directos y no prolongados, como el Protocolo II, promueven una mejor actividad estrogénica. De manera similar, Sá Filho *et al.* (2010) demostraron que la administración de eCG tras el retiro del DIB incrementa la expresión del estro en vacas anéstricas debido al aumento de estradiol circulante. Esto concuerda con la superioridad fisiológica del Protocolo II, cuyo mayor porcentaje de celo puede atribuirse a un equilibrio más eficiente entre el crecimiento folicular inducido por eCG y la ausencia de una supresión prolongada del eje hipotálamo-hipófisis-ovario.

En conjunto, los resultados sugieren que las vacas del Protocolo II mostraron una actividad estrogénica más funcional, superando consistentemente los valores esperados en condiciones tropicales y demostrando que la pre-inducción puede no ser necesaria para promover la expresión conductual del estro en vacas en anestro posparto.

6.2. Tasa de ovulación

La tasa de ovulación fue alta en ambos tratamientos. En el Protocolo I se registró 78.6% (11/14 vacas) mientras que en el Protocolo II se observó 64.3% (9/14 vacas). Aunque la tendencia favoreció numéricamente al protocolo con pre-inducción, la diferencia no fue

significativa ($p=0.678$), y los intervalos de confianza del OR mostraron superposición lo que confirma que ninguno de los dos tratamientos superó estadísticamente al otro.

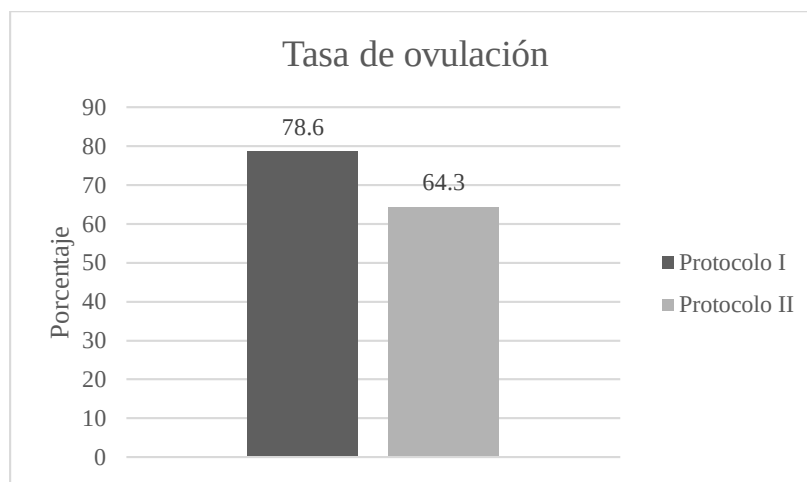


Figura 3. Porcentaje de vacas ovuladas según protocolo hormonal

El Protocolo I presentó mayor tasa de ovulación, pero, esta diferencia no se tradujo en mayor fertilidad, lo que coincide con la literatura que advierte que ovular más no implica ovular mejor. Pereira *et al.* (2014) demostraron que folículos expuestos por periodos prolongados a progesterona tienden a ovular aun cuando presentan menor competencia, resultando en cuerpos lúteos pequeños y progesterona insuficiente para sostener la gestación. Esto explica por qué, a pesar de ovular más, las vacas del Protocolo I no lograron mayor tasa de concepción.

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos reportados para vacas en anestro en protocolos combinados con estradiol y progesterona. Baruselli *et al.* (2004) reportaron tasas de ovulación entre 60% y 85%; Sales *et al.* (2011) señalaron valores similares entre 65% y 80% en *Bos indicus*. Más recientemente, Meneghetti *et al.* (2009) documentaron tasas superiores a 70% cuando se utiliza eCG, lo que coincide con la ovulación elevada del Protocolo I, aun cuando dicha ovulación no conllevó mayor preñez.

La menor ovulación del Protocolo II podría explicarse por un estímulo hormonal más corto sobre el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, pero el comportamiento reproductivo posterior indica que las ovulaciones fueron más funcionales. Lucy (2001) y Wiltbank *et al.* (2016) destacan que la calidad ovulatoria depende más de la maduración del ovocito que del tamaño o cantidad de folículos ovulados. De esta manera, el Protocolo II parece haber favorecido ovulaciones con mejor competencia fisiológica, aun en menor número, lo que explica su mejor desempeño final en tasa de preñez.

6.3. Tasa de concepción

El Protocolo II obtuvo 28.6% (4/14 vacas preñadas), cifra superior al 14.3% (2/14 vacas preñadas) logrado por el Protocolo I. Si bien la diferencia no fue significativa estadísticamente ($p=0.648$), el riesgo relativo mostró que una vaca tratada con el Protocolo II tuvo el doble de probabilidad de quedar preñada comparada con aquellas del Protocolo I.

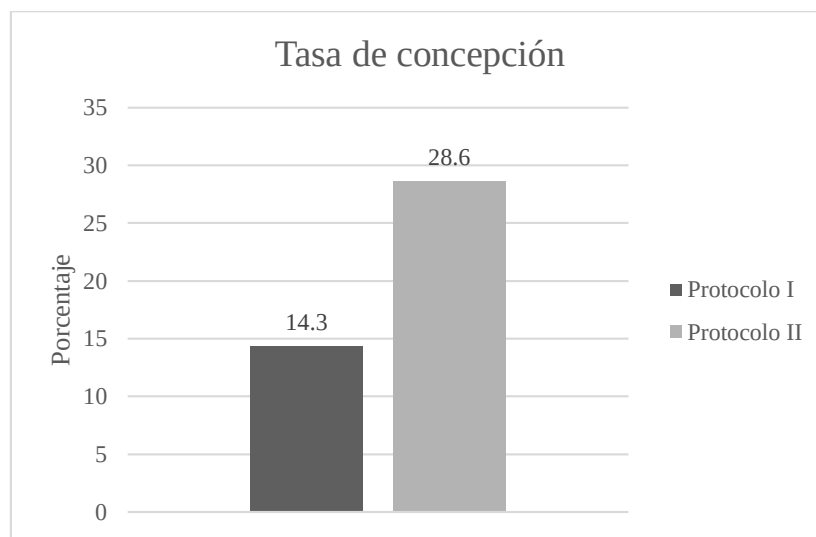


Figura 4. Porcentaje de concepción obtenida según protocolo hormonal

Los resultados obtenidos se alinean con lo reportado por Bó y Baruselli (2014) quienes señalaron que, bajo condiciones tropicales, las tasas de preñez en protocolos basados en P4-EB suelen oscilar entre 20% y 40% en vacas anéstricas, lo que posiciona al Protocolo II dentro del rango esperado y al Protocolo I por debajo de los valores habituales.

Por su parte, Ayres *et al.* (2008) documentaron 30.1% de concepción utilizando P4 + ECP + eCG, mientras que Sá Filho *et al.* (2010) reportaron 33%–36% en vacas *Bos indicus* bajo condiciones de estrés nutricional moderado. Ambas cifras se asemejan al 28.6% del Protocolo II y distan del 14.3% del Protocolo I, reforzando la hipótesis de que la exposición excesivamente prolongada a progesterona compromete la competencia ovocitaria.

Un aspecto fundamental para interpretar la diferencia es el tipo de folículo que llega a ovular. Folículos que crecen bajo inhibición prolongada de LH, como ocurre durante la fase extendida de pre-inducción, generan ovocitos con baja capacidad de maduración (Pereira *et al.*, 2014), lo que podría explicar la baja concepción del Protocolo I. Además, Sales *et al.* (2011) indican que la eficacia de la eCG en inducir ovulaciones fértiles depende de que el folículo no haya sido suprimido por progesterona por demasiado tiempo, hecho que también coincide con la dinámica del Protocolo II.

Los resultados demuestran que, si bien ambos protocolos lograron concepciones, el Protocolo II promovió gestaciones más acordes con el comportamiento esperado para vacas en anestro en ambientes tropicales, mientras que el Protocolo I presentó limitaciones fisiológicas derivadas de su estructura hormonal extendida.

6.4. Seguimiento de las vacas no gestantes

El análisis reproductivo se complementó mediante la evaluación ecográfica de las vacas que no lograron gestación, con el objetivo de identificar el estado ovárico posterior al tratamiento y comprender las causas fisiológicas. Aunque esta variable no formaba parte del diseño experimental inicial, su integración permitió interpretar con mayor profundidad el desempeño de los protocolos hormonales.

En el Protocolo I, 12 de las 14 vacas no quedaron preñadas. Dentro de este grupo, se registró anestro persistente en 33.3% (4/12 vacas), folículos subdesarrollados <10 mm en 25.0% (3/12 vacas), quistes ováricos en 16.7% (2/12 vacas) y presencia de cuerpo lúteo en 25.0% (3/12 vacas). Los resultados reflejan que la exposición prolongada a progesterona pudo inducir folículos persistentes de baja calidad, fenómeno descrito por Bó y Baruselli (2014) y por Meneghetti *et al.* (2009). Asimismo, la presencia simultánea de cuerpos lúteos pequeños sugiere luteinización deficiente, lo cual disminuye la probabilidad de implantación embrionaria efectiva.

Por su parte, en el Protocolo II, 10 de las 14 vacas no lograron gestación, sin embargo, la respuesta ovárica fue fisiológicamente más favorable. Se observó anestro solo en 20.0% (2/10 vacas), folículos crecientes de 8–10 mm en 40.0% (4/10 vacas), cuerpos lúteos cavitarios en 30.0% (3/10 vacas) y folículos subdesarrollados en únicamente 10.0% (1/10 vacas). Sales *et al.* (2011) indican que la presencia de estructuras ováricas activas tras un protocolo de sincronización es un predictor positivo de reactivación cíclica y mejora la probabilidad de éxito en el siguiente servicio. Esto evidencia que, aunque no todas las vacas del Protocolo II lograron gestación, la fisiología ovárica fue más coherente con el restablecimiento progresivo de la actividad reproductiva.

En conjunto, los resultados sugieren que el Protocolo II no solo obtuvo mayor número de gestaciones, sino que además promovió una reactivación ovárica más eficiente en las vacas no gestantes, lo que incrementa la probabilidad de éxito reproductivo en ciclos posteriores.

6.5. Costo por vaca gestante

El análisis económico demostró con mayor claridad el impacto de los protocolos evaluados. Si bien el costo por vaca tratada fue relativamente similar en ambos esquemas, su capacidad para convertir inversión en gestaciones efectivas fue marcadamente distinta. El Protocolo I requirió una inversión total de 21,724.08 Lps para conseguir únicamente 2 preñeces, dando como resultado un costo unitario de 10,862.04 Lps por vaca gestante. En contraste, el Protocolo II generó cuatro gestaciones con un costo total de 17,776.36 Lps, lo que redujo el costo por preñez a 4,444.09 Lps, equivalente a una disminución del 59.1% con respecto al Protocolo I

Tabla 4. Costo individual por vaca para cada protocolo

PRODUCTO	PROTOCOLO I (LPS)	PROTOCOLO II (LPS)
Farmin (Cu, Zn, Mn, Se)	67.50	67.50
Selade (AD ₃ E, Se y P)	80.00	80.00
DIB (1gr P4)	539.80	269.90
EB	24.16	12.08
eCG	111.92	111.92
PGF ₂ α	29.02	29.02
ECP	19.32	19.32
Pajuela de semen	600.00	600.00
Suministros	80.00	80.00
Total por vaca	1,551.72	1,269.74

Nota. Estos insumos fueron utilizados como base para calcular el costo total y el costo por vaca gestante.

Tabla 5. Costo total y costo por vaca gestante según protocolo

CONCEPTO	PROTOCOLO I	PROTOCOLO II
Costo total (Lps)	21,724.08	17,776.36
Vacas gestantes (n)	2	4
Costo por gestación (Lps)	10,862.04	4,444.09

Nota. El Protocolo II redujo el costo unitario por preñez en un 59.1%.

Estudios recientes de manejo reproductivo coinciden con esta interpretación. Patterson *et al.* (2011) y Sá Filho *et al.* (2010) destacan que el costo por preñez es el indicador económico más importante para protocolos de Inseminación Artificial a Tiempo Fijo, pues integra las dimensiones fisiológica, operativa y productiva en una sola métrica de decisión. Los autores subrayan que protocolos con menor número de hormonas no necesariamente resultan más económicos si su eficiencia reproductiva es baja; por el contrario, protocolos que maximizan la tasa de concepción, aun con costos ligeramente superiores por vaca tratada, son los más rentables.

Dado que el Protocolo II logró el doble de gestaciones que el Protocolo I, su eficiencia económica resulta evidente. Esto lo convierte en una estrategia reproductiva más coherente con las necesidades de ganaderías tropicales de doble propósito, donde la combinación entre rentabilidad y eficacia fisiológica es esencial para sostener el desempeño productivo del hato.

VII. CONCLUSIONES

El Protocolo II sin pre-inducción demostró ser fisiológicamente más eficiente, alcanzando mayor manifestación de celo y mayor tasa de concepción que el Protocolo I. Esto confirma que un enfoque hormonal más breve y directo favorece la reactivación ovárica y mejora la eficacia reproductiva en vacas en anestro posparto bajo condiciones tropicales.

La mayor tasa de ovulación observada en el Protocolo I en comparación con el Protocolo II, no se tradujo en una ventaja reproductiva, lo que evidencia que la calidad folicular y luteal tiene mayor impacto sobre la fertilidad que la simple inducción de la ovulación. Los resultados indican que ovulaciones inducidas tras periodos prolongados de supresión hormonal pueden comprometer la competencia ovocitaria y el establecimiento de la gestación.

El análisis económico demostró que el Protocolo II fue significativamente más rentable, frente al Protocolo I. Esta diferencia confirma que la eficiencia reproductiva es el principal determinante del retorno económico y posiciona al Protocolo II como la alternativa más eficiente y financieramente sostenible.

VIII. RECOMENDACIONES

Implementar el Protocolo II como primera opción de sincronización de celo en vacas en anestro posparto, debido a su mayor eficacia reproductiva y reducción significativa del costo por preñez, optimizando el desempeño productivo sin incrementar la inversión hormonal.

Estandarizar el proceso de inseminación utilizando únicamente un inseminador especializado, con el fin de disminuir la variabilidad técnica asociada al operador y mejorar la precisión en la evaluación de los protocolos utilizados.

Realizar futuros estudios con un número mayor de animales, permitiendo aumentar la potencia estadística, reducir el efecto del azar en las comparaciones y obtener mejores conclusiones sobre la respuesta fisiológica y económica de los protocolos.

Ampliar el periodo de tonificación previa a la implementación de los protocolos hormonales, con el fin de asegurar que la suplementación vitamínico-mineral ejerzan plenamente su efecto sobre la actividad endocrina y contribuyan a una reactivación ovárica más uniforme de las vacas.

Utilizar pajuelas de semen provenientes de centros certificados, garantizando así una calidad seminal y evitando la variabilidad generada por el uso de semen de diferentes orígenes y procedencias no verificadas.

Incorporar una evaluación ecográfica estratégica al finalizar la fase de pre-inducción del Protocolo I, con el fin de determinar si la exposición inicial a progesterona y estradiol produjo los cambios esperados sobre la dinámica folicular.

De ser posible, se recomienda implementar un seguimiento ecográfico continuo a lo largo de todo el proceso hormonal, lo cual permitiría describir con mayor precisión la dinámica fisiológica generada por cada protocolo.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Ayres, H., Martins, C. M., Ferreira, R. M., et al. (2008). Effect of timing of estradiol benzoate administration on follicular wave emergence and pregnancy per AI in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology*, 70(4), 664–672.

Baruselli, P. S., Reis, E. L., Marques, M. O., Nasser, L. F., & Bó, G. A. (2004). Control of follicular development for the synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Animal Reproduction Science*, 82–83, 307–326.

Baruselli, P. S., Ferreira, R. M., Colli, M. H. A., Elliff, F. M., Sá Filho, M. F., & Vieira, L. M. (2006). Synchronization of ovulation in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 96(3–4), 261–275.

Bearden, H. J., & Fuquay, J. W. (2000). *Applied animal reproduction* (5th ed.). Prentice Hall.

Bó, G. A., Baruselli, P. S., Martínez, M. F., & Nasser, L. F. (2003). Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in South American beef cattle. *Animal Reproduction Science*, 79(1–2), 13–23.

Bó, G. A., & Baruselli, P. S. (2014). Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Animal*, 8(s1), 144–152.

Ginther, O. J. (1992). *Reproductive biology of the mare: Basic and applied aspects* (2nd ed.). Equiservices Publishing.

Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1277–1293.

Meneghetti, M., Sá Filho, M. F., Peres, R. F. G., Lamb, G. C., & Vasconcelos, J. L. M. (2009). Fixed-time artificial insemination with estradiol and progesterone for *Bos indicus* cows I: Estrous response, ovulation and pregnancy. *Animal Reproduction Science*, 114(1–3), 96–104.

Patterson, D. J., Kojima, F. N., Smith, M. F., & Perry, G. A. (2011). Hormonal factors influencing estrous behavior and fertility of postpartum beef cows. In *Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle* (pp. 79–98).

Pereira, M. H. C., Wiltbank, M. C., Vasconcelos, J. L. M., & Sartori, R. (2014). Reproductive responses of dairy cows to estradiol- and progesterone-based protocols initiated at different stages of the estrous cycle. *Theriogenology*, 81(5), 729–737.

Pierson, R. A., & Ginther, O. J. (1988). Ultrasonography of the bovine ovary. *Theriogenology*, 29(1), 21–37.

Sá Filho, M. F., Ayres, H., Ferreira, R. M., et al. (2010). Equine chorionic gonadotropin and fixed-time artificial insemination in *Bos indicus* cows: Estrous response, ovulation, and pregnancy rates. *Theriogenology*, 73(5), 620–627.

Sales, J. N. S., Crepaldi, G. A., Girotto, R. W., Souza, A. H., & Baruselli, P. S. (2011). Fixed-time AI protocols for *Bos indicus* cows: Strategies based on estradiol, progesterone, GnRH and eCG. *Animal Reproduction Science*, 124(1–2), 1–7.

Senger, P. L. (2015). *Pathways to pregnancy and parturition* (3rd ed.). Current Conceptions Inc.

Vasconcelos, J. L. M., Silcox, R. W., Lacerda, J. A., Pursley, J. R., & Wiltbank, M. C. (1999). Postpartum synchronization of ovulation in lactating dairy cows using GnRH and PGF_{2α} or estradiol and progesterone. *Journal of Dairy Science*, 82(5), 1060–1064.

Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Cochrane, F., Barletta, R. V., Trayford, C. R., & Joseph, R. T. (2016). Physiology and endocrinology of the postpartum period in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99, 6763–6783.

X. ANEXOS

Anexo 1. Selección de la población mediante palpación transrectal y evaluación ecográfica



Anexo 2. Administración del complejo vitamínico AD₃E con Se y P como preparación metabólica previo a la implementación de los protocolos



Anexo 3. Colocación del DIB y aplicación de benzoato de estradiol al Protocolo I (pre-inducción)



Anexo 4. Retiro del DIB al protocolo I (pre-inducción)



Anexo 5. Colocación del DIB y administración de benzoato de estradiol a ambos protocolos (sincronización)



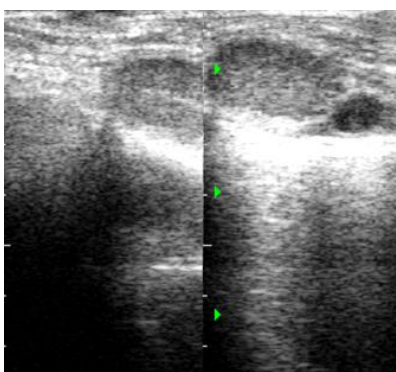
Anexo 6. Retiro del DIB y administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$, eCG y ECP a ambos protocolos (sincronización)



Anexo 7. Ejecución de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo 48 horas posteriores al retiro del DIB



Anexo 8. Evaluación ecográfica de la ovulación a los 14 días posteriores a la IATF



Anexo 9. Diagnóstico de preñez por ultrasonografía transrectal a los 40 días posteriores a la IATF

