



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

**Comparación de dos protocolos de sincronización del celo
a tiempo fijo en vacas mejoradas de la Estación
Agropecuaria de la UTPL**

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Crespo Calva, Heimar José

Director: Carrera Durazno, Rubén

LOJA

2024



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2024

Aprobación del director del trabajo de integración curricular

Loja, enero del 2024

Doctor

Rubén Carrera Durazno

Docente de la carrera de Agropecuaria

Loja

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Comparación de dos protocolos de sincronización de celo a tiempo fijo en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL realizado por Heimar José Crespo Calva ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Dr Rubén Carrera Durazno

Director del Trabajo de Integración Curricular

C.I.:

Correo electrónico: racarrera@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Heimar José Crespo Calva, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor (a) del Trabajo de Integración Curricular denominado: Comparación de dos protocolos de sincronización de celo a tiempo fijo en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL, de la carrera de Agropecuaria, específicamente de los contenidos comprendidos en: marco teórico, metodología, resultados y discusión, siendo Rubén Carrera Durazno, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Heimar José Crespo Calva

C.I.: 1752780187

Correo electrónico: hj Crespo1@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios y la Virgen del Cisne, por haberme obsequiado salud e iluminar con su luz divina cada sendero de mi vida, por darme fortaleza cuando he estado a punto de flaquear.

Con todo mi cariño y amor a mi madre Tereza, por apoyarme en esta trayectoria y enseñarme su hermoso don, el de sanar con amor, por motivarme y brindarme su hombro cuando sentía que el camino se terminaba.

A mis hermanas, Pamela y Johanna, por su amor incondicional y su constante ejemplo en mi vida.

Finalmente, a mis queridos familiares, cuyo amor y respaldo constante han sido mi mayor fortaleza. Agradezco su apoyo incondicional en cada paso de este camino académico.

Heimar José Crespo Calva

Agradecimiento

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, a la carrera de Ingeniería Agropecuaria, a todos sus profesores por haberme inculcado grandes conocimientos, anécdotas, enseñanzas durante mi carrera universitaria.

A mi director de tesis, Dr Rubén Carrera Durazno, por su apoyo y predisposición para la realización de este proyecto, le guardo una eterna gratitud y admiración.

Al director de la titulación de Agropecuaria, Dr Edwin Daniel Capa Mora, por compartir sus conocimientos y experiencia, le quedo agradecido eternamente.

A mi madre y hermanas, gracias por sus consejos y por forjarme a ser un ser humano de bien, este logro les pertenece.

Al Dr Jefferson Lasso, por su enseñanza y paciencia. Así también, al personal de la Estación Agropecuaria UTPL, por su apoyo en la parte de campo.

Finalmente, agradezco a mis amigos, Rodrigo, Elian, Michael, Eddy y Néstor, su amistad ha iluminado cada paso, convirtiendo este desafío académico en un viaje compartido lleno de apoyo mutuo y alegrías compartidas.

Heimar José Crespo Calva

Índice de contenido

Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido.....	VII
Índice de tablas.....	X
Índice de figuras.....	XI
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Capítulo uno Marco teórico.....	5
1.1 Ciclo reproductivo de la vaca	5
1.1.1 Fisiología del ciclo estral de los bovinos	5
1.1.2 Hipotálamo	5
1.1.3 Hipófisis.....	6
1.1.4 Ovarios... ..	6
1.1.5 Útero.....	7
1.2 Características y fases del ciclo estral.....	7
1.2.1 Fases del ciclo estral	8
1.3 Sincronización de celo en bovinos	10
1.3.1 Métodos tradicionales de sincronización de celo	10
1.3.2 Ventajas y limitaciones la sincronización de celo.....	13
1.4 Protocolos hormonales para la sincronización de celo a tiempo fijo	14
1.4.1 Protocolo Ovysinch.....	14
1.4.2 Protocolo CO-Synch.....	14
1.4.3 Protocolo CO-Synch + CIDR	15
1.5 Estado actual del conocimiento sobre los protocolos hormonales para sincronización de celo en bovinos.....	16
1.6 Hormonas utilizadas en la sincronización del celo.....	16

1.6.1	Progesterona	16
1.6.2	Benzoato de estradiol	17
1.6.3	Prostaglandina (PGF ₂ α)	17
1.6.4	Gonadotropina coriónica equina (eCG)	18
1.6.5	Cipionato de estradiol	18
	Capítulo dos Metodología	19
2.1	Localización del estudio	19
2.2	Animales	19
2.3	Manejo de animales	19
2.4	Diseño experimental	20
2.5	Tratamientos	20
2.5.1	Grupo testigo	20
2.5.2	Tratamiento 1	20
2.5.3	Tratamiento 2	21
2.5.4	Descripción de productos hormonales utilizados	21
2.5.5	Acción de las hormonas utilizadas durante los protocolos	22
2.5.6	Materiales y equipos para la inseminación artificial	23
2.5.7	Materiales y equipos para ecografía transrectal	23
2.6	Evaluación de celo	24
2.7	Inseminación artificial	24
2.8	Diagnóstico de preñez	24
2.9	Variables analizadas	25
2.9.1	Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento	25
2.9.2	Porcentaje de preñez al primer servicio	25
2.9.3	Índice de ovarios	25
2.9.4	Condición corporal (escala 1 a 5)	26
2.9.5	Evaluación económica de los tratamientos (dólares)	29
2.10	Eficiencia reproductiva	29
2.10.1	Parámetros reproductivos	29
2.10.2	Valores óptimos de los parámetros reproductivos	30
2.11	Levantamiento de información	30
2.12	Grupos de Trabajo	30
2.12.1	Grupo control	30
2.12.2	Tratamiento 1	31
2.12.3	Tratamiento 2	31

2.13	Análisis de IEP Y DA de los tratamientos y el grupo testigo	32
2.14	Control y evaluación de resultados	34
	Capítulo tres Resultados y discusión.....	35
3.1	Resultados de variables analizadas	35
3.1.1	Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento	35
3.1.2	Índice de ovarios	36
3.1.3	Condición corporal (escala 1 a 5)	37
3.2	Resultados del primer objetivo: Identificar los parámetros reproductivos en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL mediante la aplicación de IATF	38
3.2.1	Intervalo entre partos.....	38
3.2.2	Días abiertos	40
3.2.3	Porcentaje de preñez por tratamiento.....	41
3.2.4	Periodo seco.....	42
3.2.5	Número de servicios por concepción	43
3.3	Resultados del segundo objetivo: Identificar el protocolo de sincronización de celo que mejor porcentaje de preñez al primer servicio presente mediante la sincronización de celo a tiempo fijo	44
3.4	Resultados del tercer objetivo: Calcular el costo de preñez de los protocolos de sincronización de celo aplicados	45
	4 Conclusiones	48
	5 Recomendaciones	49
	Referencias	50
	6 Apéndice.....	58
	Apéndice A. Índice De Ovarios	58
	Apéndice B. Gestaciones Confirmadas.....	62

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Fases del ciclo estral bovino, día, duración y evento</i>	9
Tabla 2	<i>Abreviación, significado, principio activo, nombre comercial y dosis por animal....</i>	21
Tabla 3	<i>Acción de las hormonas durante los tratamientos 1 y 2</i>	22
Tabla 4	<i>Sistema de puntuación para comportamiento del estro.....</i>	24
Tabla 5	<i>Áreas y grados de la condición corporal escala 1 a 5</i>	27
Tabla 6	<i>Parámetros reproductivos.....</i>	29
Tabla 7	<i>Valores óptimos de los parámetros reproductivos.....</i>	30
Tabla 8	<i>Información de los animales del grupo control</i>	31
Tabla 9	<i>Información de los animales del tratamiento 1</i>	31
Tabla 10	<i>Información de los animales del tratamiento 2</i>	32
Tabla 11	<i>Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del grupo control.....</i>	33
Tabla 12	<i>Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del tratamiento 1.....</i>	33
Tabla 13	<i>Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del tratamiento 2.....</i>	33
Tabla 14	<i>Costo de insumos por vaca utilizados en cada tratamiento.....</i>	46
Tabla 15	<i>Análisis de costos por vaca preñada.....</i>	47

Índice de figuras

Figura 1 <i>Esquema simplificado de las interacciones hormonales del eje Hipotálamo-Hipófisis-Ovario.....</i>	7
Figura 2 <i>Representación esquemática de los protocolos Ovsynch, Co-Synch y COSynch+CIDR para IATF.....</i>	15
Figura 3 <i>Esquema del tratamiento 1.....</i>	20
Figura 4 <i>Esquema del tratamiento 2.....</i>	21
Figura 5 <i>Diagnóstico de preñez.....</i>	25
Figura 6 <i>Palpación rectal con ecógrafo veterinario para medir el tamaño de los ovarios... </i>	26
Figura 7 <i>Áreas anatómicas empleadas para evaluar la condición corporal</i>	26
Figura 8 <i>Escala para medir la condición corporal en ganado lechero Holstein.....</i>	28
Figura 9 <i>Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento.....</i>	36
Figura 10 <i>Resultado de la evaluación de la condición corporal por tratamiento.....</i>	38
Figura 13 <i>Porcentaje de preñez por tratamiento.....</i>	42
Figura 14 <i>Duración del Período Seco en Vacas - Valor Obtenido y Valor Óptimo</i>	43
Figura 15 <i>Número de servicios por concepción- Valor Obtenido y Valor Óptimo.....</i>	44
Figura 16 <i>Porcentaje de preñez al primer servicio por tratamiento.....</i>	45

Resumen

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo evaluar dos protocolos de sincronización del celo a tiempo fijo en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL, comparando su eficiencia reproductiva. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con un grupo control y dos tratamientos hormonales, cada uno con 5 animales de 4 años y 350 kg en promedio, y una condición corporal de 2.5 a 3 (escala 1 a 5.) Ambos tratamientos mostraron un 100% de celo manifiesto, el índice de ovarios no presentó diferencias significativas ($P=0,533$) entre los tratamientos To, T1 y T2 (14.08 ± 0.70 , 13.60 ± 0.89 y 13.54 ± 0.85), respectivamente. El porcentaje de preñez al primer servicio fue del 40% en el grupo control y del 60% en los tratamientos T1 y T2. Los costos individuales por protocolo y por vaca preñada variaron entre los tratamientos, siendo \$85.5 y \$142.5 para el T1, y \$93.2 y \$155.3 para el T2. En conclusión, ambos protocolos demostraron ser ideales para implementarse, alcanzando tasas de preñez del 60% por tratamiento, respaldando su eficacia reproductiva.

Palabras clave: protocolos, celo, tiempo fijo.

Abstract

The objective of this technical project was to evaluate two fixed-time zeal synchronization protocols in improved cows from the UTPL Agricultural Station, comparing their reproductive efficiency. A completely randomized design was used with a control group and two hormonal treatments, each with 5 animals of 4 years old and 350 kg on average, and a body condition of 2.5 to 3 (scale 1 to 5.) Both treatments showed 100% of manifest estrus, the ovarian index did not present significant differences ($P=0.533$) between treatments To, T1 and T2 (14.08 ± 0.70 , 13.60 ± 0.89 and 13.54 ± 0.85), respectively. Pregnancy percentage at first service was 40% in the control group and 60% in the T1 and T2 treatments. Individual costs per protocol and per pregnant cow varied between treatments, being \$85.5 and \$142.5 for T1, and \$93.2 and \$155.3 for T2. In conclusion, both protocols proved to be ideal for implementation, achieving pregnancy rates of 60% per treatment, supporting their reproductive efficacy.

Keywords: protocols, zeal, fixed-time

Introducción

El logro de una economía próspera en las explotaciones lecheras depende en gran medida de la eficacia reproductiva, por lo tanto, es necesario implementar técnicas que incrementen las tasas de gestación (Santos, 2007).

La inseminación artificial es una técnica que permite mejorar genéticamente los hatos a través de la incorporación de material genético de sementales seleccionados por su capacidad para transmitir caracteres de relevancia económica (Peters y Ball, 1991).

La implementación de la técnica de inseminación artificial enfrenta retos significativos debido a su alta dependencia de la detección exacta y eficiente del celo, la cual es susceptible a variaciones que están influenciadas tanto por el animal, el ambiente y el manejo, generando así limitaciones en la efectividad de la detección del celo, aparte de precisar una monitorización continua, implicando una inversión sustancial de tiempo y recursos monetarios (Santos, 2007).

Por ello, la necesidad de mejorar la eficacia reproductiva en ganado bovino ha impulsado a realizar prácticas de manejo como la ecografía transrectal la cual ha contribuido a mejorar el conocimiento sobre los eventos relacionados con la dinámica folicular ovárica, así como la posibilidad de manipular la función ovárica mediante la aplicación de protocolos de sincronización de celo a tiempo fijo (Martínez, 2009).

Los protocolos de sincronización de celo a tiempo fijo consisten en la administración de sustancias hormonales que permiten el control o manipulación del ciclo estral de las hembras con el objetivo de lograr que expresen su celo aproximadamente al mismo tiempo. Es un método muy comúnmente empleado que permite la introducción o utilización de la inseminación artificial (Pursley et al., 1995).

Si bien los costos de administración de protocolos de sincronización de celo a tiempo fijo pueden parecer elevados, las deficiencias en la detección de celos son un asunto

relevante que puede tener un impacto significativo en la eficiencia productiva de un hato (Huanca, 2001).

Con fundamento en lo expuesto anteriormente, se ejecutó la presente investigación en la Estación Agropecuaria UTPL. El propósito principal del estudio consistió en comparar dos protocolos de sincronización del celo a tiempo fijo en vacas mejoradas mediante el empleo de la técnica de inseminación artificial, con el fin de evaluar el porcentaje de éxito en cuanto a sincronización del celo, preñez, evaluación corporal y económica de los protocolos aplicados.

Objetivo general

Evaluar los efectos de dos protocolos de sincronización del celo a tiempo fijo en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL, comparando la eficiencia reproductiva.

Objetivos específicos

- Identificar los parámetros reproductivos en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL mediante la aplicación de IATF.
- Identificar el protocolo de sincronización de celo que mejor porcentaje de preñez al primer servicio presente mediante la sincronización de celo a tiempo fijo.
- Calcular el costo de preñez de los protocolos de sincronización de celo aplicados.

Capítulo uno

Marco teórico

1.1 Ciclo reproductivo de la vaca

1.1.1 *Fisiología del ciclo estral de los bovinos*

La regulación del ciclo estral es el resultado de la interacción coordinada de múltiples órganos, siendo elementos clave en este proceso el eje hipotálamo-hipófisis, el ovario y el útero. El ciclo estral es regulado por un complejo sistema de hormonas que incluye la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) producida por el hipotálamo, la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) secretadas por la hipófisis anterior, así como la progesterona (P4), el estradiol (E2) e inhibinas liberadas por los ovarios, y la prostaglandina F2 α (PGF2 α) generada por el útero. Estas hormonas interactúan entre sí a través de un sistema de retroalimentación tanto positiva como negativa para regular el ciclo estral (Colazo y Mapletoft, 2014).

1.1.2 *Hipotálamo*

El hipotálamo constituye una parte esencial del cerebro y alberga neuronas especializadas en la síntesis de la Hormona Liberadora de las Gonadotropinas (GnRH). A través de la circulación sanguínea, la GnRH se dispersa por los diminutos vasos capilares hacia el sistema hipofisiario, llegando finalmente a las células de la hipófisis anterior. Su función principal en esta ubicación es estimular la producción y liberación de varias hormonas hipofisiarias, entre las que se incluyen la Hormona Folículo Estimulante (FSH) y la Hormona Luteinizante (LH), entre otras (Rippe, 2009).

1.1.3 Hipófisis

La hipófisis es una glándula que consta de una parte anterior y otra posterior, desempeña un papel crucial en la producción de diversas hormonas. Produce dos hormonas gonadotrópicas: la folículo estimulante (FSH) y la luteinizante (LH), las cuales, influyen directamente en las gónadas, regulando el crecimiento folicular, la maduración de los ovocitos, la secreción de estrógenos, la ovulación, el desarrollo del cuerpo lúteo y la producción de progesterona. Mientras que la FSH impulsa el crecimiento folicular, la LH, en colaboración con la FSH, contribuye a la maduración del folículo y desencadena la ovulación. (Pardo, 2012).

1.1.4 Ovarios

Los ovarios son glándulas que cumplen dos funciones principales. Por un lado, tienen una función exocrina que se relaciona con la liberación de óvulos. Por otro lado, desempeñan una función endocrina al producir y secretar hormonas. Entre las hormonas producidas por los ovarios se encuentran los estrógenos o estradiol, la progesterona y la inhibina. Los estrógenos, hormonas esteroideas sintetizadas en los folículos ováricos, estimulan la conducta sexual y el celo al actuar sobre el sistema nervioso central. Además, afectan otros órganos del aparato reproductivo como las trompas de Falopio, el útero, la vagina y la vulva. Los estrógenos ejercen un efecto de retroalimentación positiva en el hipotálamo, estimulando la liberación de GnRH, que a su vez induce la liberación de FSH y LH en la hipófisis anterior. La progesterona, también una hormona esteroide, es producida en el cuerpo lúteo bajo la influencia de la LH. Esta hormona prepara el útero para la implantación del embrión y mantiene el embarazo. Ejerce un efecto de retroalimentación negativa en el hipotálamo. La inhibina, una hormona proteica producida en el folículo, participa en el mecanismo de regulación de la secreción de FSH y tiene un efecto de retroalimentación negativa en la hipófisis anterior, resultando en una menor secreción de FSH (Hafez, 1989).

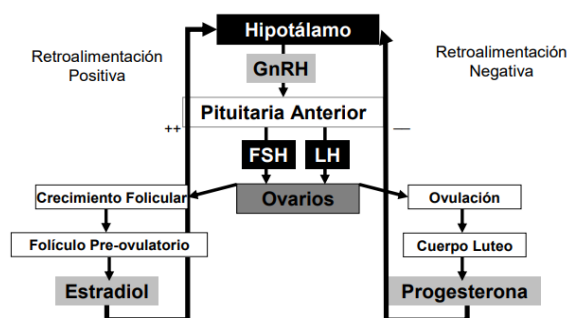
1.1.5 Útero

Produce la Prostaglandina F2 α (PGF2 α), la cual juega un papel crucial en la regulación del ciclo estral al provocar la regresión del cuerpo lúteo, un proceso conocido como luteólisis. También interviene en los procesos de ovulación y parto.

La figura 1 indica un esquema simplificado de cómo los órganos y hormonas actúan durante el ciclo estral. Las hormonas actúan como mensajeros químicos transportados por la sangre, dirigiéndose hacia órganos y tejidos específicos que poseen receptores hormonales específicos. Estos receptores regulan las diferentes etapas del ciclo estral (Lamb et al., 2010).

Figura 1

Esquema simplificado de las interacciones hormonales del eje Hipotálamo-Hipófisis-Ovario



Nota. Tomado de *El ciclo estral*, por C. Rippe, 2009, <https://n9.cl/lugjz>

1.2 Características y fases del ciclo estral

El Ciclo Estral (CE) comprende el período transcurrido entre dos estros. En la vaca, el CE tiene una duración media de 21 días, aunque puede variar entre 19 y 23 días. Durante la fase de estro, la hembra presenta receptividad sexual hacia el macho o incluso hacia otras hembras, esta fase tiene una duración de 12 a 18 horas (Quezada, 2013).

Después del estro se produce la ovulación, dando lugar a la formación de un cuerpo lúteo (CL). Si no se produce la gestación, el CL es destruido mediante la acción de la prostaglandina F2 α (PGF2 α), lo que marca el comienzo de un nuevo ciclo (Adams et al., 2008).

1.2.1 Fases del ciclo estral

1.2.1.1 Estro. Hernández (2016) menciona que en esta etapa la hembra acepta la cópula o la monta de otra vaca. El estro es provocado por el incremento significativo de las concentraciones de estradiol producido por el folículo preovulatorio y por la ausencia de un cuerpo lúteo. La duración de esta etapa es de 8 a 18 horas.

1.2.1.2 Metaestro. El metaestro es la fase que sigue al estro y tiene una duración de aproximadamente cuatro a cinco días. Durante este periodo, tiene lugar la ovulación y se forma el cuerpo lúteo. Después de la ovulación, se puede notar una cavidad en el lugar donde se encontraba el folículo ovulatorio (depresión ovulatoria), y luego se forma el cuerpo hemorrágico (cuerpo lúteo en formación). Durante el metaestro, los niveles de progesterona comienzan a aumentar gradualmente hasta alcanzar niveles superiores a 1 ng/ml, lo cual indica que el cuerpo lúteo ha alcanzado la madurez. Este punto en el que las concentraciones de progesterona superan 1 ng/ml se utiliza como criterio fisiológico para marcar el fin del metaestro y el inicio del diestro. Durante este período, se produce un evento hormonal notable que implica el aumento de la hormona folículo estimulante (FSH) después de la ovulación, lo cual provoca la primera oleada de desarrollo folicular. Además, algunas vacas experimentan un fenómeno conocido como sangrado metaestral, caracterizado por la presencia de sangrado (Hernández, 2016).

1.2.1.3 Diestro. Hernández (2016) indica que el diestro es la etapa de mayor duración del ciclo estral, de 12 a 14 días. Durante esta etapa el cuerpo lúteo mantiene su plena funcionalidad, lo que se refleja en concentraciones sanguíneas de progesterona, mayores de 1 ng/mL. Además, en esta etapa se pueden encontrar folículos de diferente tamaño debido a las oleadas foliculares. Después de 12-14 días de exposición a la progesterona, el endometrio comienza a secretar PGF2 α en un patrón pulsátil, el cual termina con la vida del cuerpo lúteo y con el diestro. En términos endocrinos cuando el cuerpo lúteo pierde su funcionalidad, es decir, cuando las concentraciones de progesterona disminuyen por debajo de 1 ng/mL, termina el diestro y comienza el proestro. Cabe mencionar que, durante esta etapa, la LH se secreta con una frecuencia muy baja y la FSH tiene incrementos responsables de las oleadas foliculares.

1.2.1.4 Proestro. El proestro se caracteriza por la ausencia de un cuerpo lúteo funcional y por el desarrollo y maduración del folículo ovulatorio. El proestro en la vaca dura de dos a tres días. Un evento hormonal característico de esta etapa es el incremento de la frecuencia de los pulsos de secreción de LH que conducen a la maduración final del folículo ovulatorio y al incremento de estradiol sérico, lo que desencadena el estro (Hernández, 2016).

En la tabla 1 se detalla las fases del ciclo estral bovino, día, duración y evento.

Tabla 1

Fases del ciclo estral bovino, día, duración y evento

Fase	Día	Duración	Evento
Estro	0	10 – 12 hrs	Maduración folicular, altos niveles de Estrógeno y pico de LH
Metaestro	1 – 3	5 – 7 días	Ovulación (dentro de las 12-18 hrs) formación del cuerpo hemorrágico que no responde a la PGF2 α

Diestro	5 – 18	10 – 15 días	Maduración del cuerpo lúteo – Altos niveles de progesterona
Proestro	19 – 21	3 días	Regresión del cuerpo lúteo, maduración del folículo e incremento de estrógenos

Nota. Adaptado de *Reproductive Anatomy and Physiology of Dairy Cattle*, por J.K. Shearer, 2003, <https://www.sitiodocedro.com.br/reproductive-anatomy-and-physiology-of-dairy-cattle/>

1.3 Sincronización de celo en bovinos

Esta técnica consiste en manipular el ciclo estral de la hembra bovina mediante la aplicación de hormonas exógenas, logrando que se desencadene la ovulación en un momento determinado, para lograr esto se utilizan hormonas sintéticas (Mapletoft et al., 2022).

La sincronización del estro se logra a través de protocolos que tienen como objetivo controlar la función luteal y folicular, con el fin de lograr una sincronización precisa. Esto permite que las hembras puedan ser cubiertas en un momento determinado o que se realicen procedimientos como la Inseminación Artificial a tiempo fijo (IATF), transferencia de embriones a tiempo fijo (TETF) y superovulación (Motta et al., 2011).

1.3.1 Métodos tradicionales de sincronización de celo

Actualmente, existen 2 grupos de métodos hormonales disponibles en el mercado que son utilizados para sincronización de celos en bovinos:

- Prostaglandinas y sus análogos que actúan como agente luteolítico sobre el cuerpo lúteo.
- Progestágenos que tienen como efecto principal un bloqueo hipotálamo-hipofisiario imitando así una fase lútea.

1.3.1.1 Sincronización con prostaglandinas y análogos de la PGF₂α.

- Doble aplicación de prostaglandinas en la totalidad de los animales

Es un método tradicional en el cual se utilizan prostaglandinas con el objetivo de sincronizar el estro, se suministra dos dosis de esta hormona con un intervalo de 12 a 14 días. La primera aplicación en rodeos cíclicos normalmente tiene un efecto luteolítico en el 60% de las vacas. Con la segunda aplicación de prostaglandina se induce el estro a la totalidad de los animales. A partir de las 48 hr de la segunda aplicación se comienza a detectar el celo e inseminar en el día 2 o 3 (Becaluba, 2006).

- Doble aplicación de Prostaglandina con inseminación después de la primera y segunda dosis

Becaluba (2006) indica que este método es una versión modificada del procedimiento previamente mencionado, que se utiliza para inseminar vacas que entran en celo tras la primera aplicación de prostaglandina. Las hembras son observadas después de la primera aplicación durante 12 días. Los que no se detectaron el celo, reciben una segunda dosis de prostaglandina y son inseminadas cuando manifiestan el celo, que se da la mayoría de las veces entre las 48 y 96 hr.

- Aplicación única de prostaglandina después de un periodo de observación de celos

Este método se basa en la observación del celo de las vacas en un período de 7 días y posteriormente inseminación de las que se encuentran en celo, siendo aplicada al séptimo día una dosis de prostaglandina en todas las vacas que no ciclaron. El período de observación de siete días debe dar tiempo para que todas las vacas en el momento del segundo tratamiento se encuentren en diestro. Los protocolos que utilizan prostaglandinas solo son apropiados para hembras cíclicas, pero no son efectivos cuando se aplican en hembras con deficiencias nutricionales y acíclicas. En tales casos, los resultados son completamente desfavorables (Becaluba, 2006).

1.3.1.2 Sincronización de celo con dispositivos con progestágenos.

- Bloqueo a través del implante subcutáneo de Norgestomet

El Norgestomet es un progestágeno sintético de gran potencia que se emplea en forma de un implante subcutáneo. Este implante contiene una cantidad de 3 mg (Crestar) del principio activo. El primer implante que surgió en el mercado fue el Syncromate B, el cual contiene 6 mg de Norgestomet. La colocación de estos implantes se realiza en la parte superior de la oreja del animal, y se mantienen en su lugar durante un período de 9 días. Cuando se coloca el implante se administran 5 mg de Valerato de Estradiol y 3 mg de Norgestomet, el primero para promover la luteolisis y sincronizar la onda de crecimiento folicular, y el segundo busca aumentar rápidamente las concentraciones de Norgestomet al inicio del tratamiento para inducir de inmediato el bloqueo hipotalámico-hipofisiario. En caso de animales cíclicos, se recomienda al momento del retiro del implante la aplicación de una dosis de prostaglandina. En el caso de vacas acíclicas, se recomienda la administración de 400 a 700 UI de eCG. La inseminación artificial se lleva a cabo en un momento específico, aproximadamente 50 horas después del retiro del implante (Becaluba, 2006).

- Dispositivos intravaginales impregnados con progesterona

Son dispositivos que son introducidos en la vagina de la hembra, recubiertos por siliconas e impregnado con 2.3 g de progesterona y en uno de sus extremos se encuentra una capsula que contiene 10 mg de benzoato de estradiol y en el otro extremo contiene una cuerda para retirarlo de la vagina con facilidad.

Durán y Latorre (2009), describen este método con los siguientes hechos:

1. El dispositivo se coloca en la vagina durante 12 días
2. La progesterona se libera progresivamente durante 12 días y a ser absorbida por la mucosa vaginal pasa al torrente sanguíneo deteniendo el ciclo estral al impedir el desarrollo y maduración del folículo, por ende, se inhibe el celo y la ovulación

3. El benzoato de estradiol contenido en la cápsula es liberado y absorbido eficientemente. En las hembras que se encuentran del 1 al día 5 del ciclo inhibe el desarrollo del cuerpo lúteo. Por otro lado, los que poseen cuerpo lúteo funcional y están del 6 al día 17 provoca su destrucción (luteólisis). El dispositivo se retira en el día 12, lo que provoca una disminución significativa de los niveles de progesterona en la sangre. Como resultado, se elimina el bloqueo y se inicia el desarrollo y la maduración del folículo.

La inseminación artificial se puede realizar a las 56 horas post retiro del dispositivo

1.3.2 Ventajas y limitaciones la sincronización de celo

Según INTAGRI (2018), la sincronización de celo ofrece diversas ventajas en la reproducción bovina, entre las que se incluyen:

- a. Acorta el período de servicios y de pariciones.
- b. Reduce el tiempo de trabajo y la detección de celo.
- c. Permite concentrar la actividad reproductiva de un grupo de animales en un período específico, lo que facilita la planificación de la inseminación artificial y el manejo del ganado.
- d. Optimización de recursos, al sincronizar el celo, se pueden utilizar eficientemente los recursos disponibles, como el semen y los servicios de inseminación artificial.
- e. Permite utilizar toros de alto valor genético en un número mayor de vacas al concentrar la actividad reproductiva.

Sin embargo, la sincronización de celo también presenta algunas limitaciones y consideraciones para tener en cuenta:

- a. Costos: Los protocolos de sincronización de celo implican el uso de hormonas y dispositivos, lo que puede representar un costo adicional para los productores de ganado.

- b. Desconocimiento de los mecanismos fisiológicos que rigen la función reproductiva de la vaca.
- c. Eficiencia variable: La respuesta de las vacas a los protocolos de sincronización puede variar, lo que puede dar lugar a tasas de concepción y sincronización no uniformes.
- d. Requiere un manejo adecuado: La sincronización de celo requiere una correcta aplicación de los protocolos y un manejo adecuado del ganado para obtener los mejores resultados (Becaluba, 2006).

1.4 Protocolos hormonales para la sincronización de celo a tiempo fijo

En la actualidad existen varios protocolos que permiten realizar la sincronización de la ovulación a fin de usar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). A continuación, se detallan algunos:

1.4.1 Protocolo Ovysinch

El protocolo consiste en la aplicación de GnRH en el día 0, en el día 7 aplicación de PGF2 α , en el día 9 aplicación de GnRH y la inseminación artificial a tiempo fijo después de 16-24 horas.

“OvSynch” sincroniza el desarrollo folicular, la regresión lútea y la ovulación de modo que la inseminación artificial puede efectuarse a tiempo fijo sin necesidad de detección del estro (Burke et al., 1996).

1.4.2 Protocolo CO-Synch

Este procedimiento implica la administración de GnRH en el día 0, seguida de prostaglandina a los 7 días y una segunda dosis de GnRH en el día 9 (48 horas después de la aplicación de la prostaglandina). Este protocolo es similar al OV-Synch, pero se diferencia

en que la inseminación artificial se lleva a cabo simultáneamente con la segunda inyección de GnRH (Hervas, 2011).

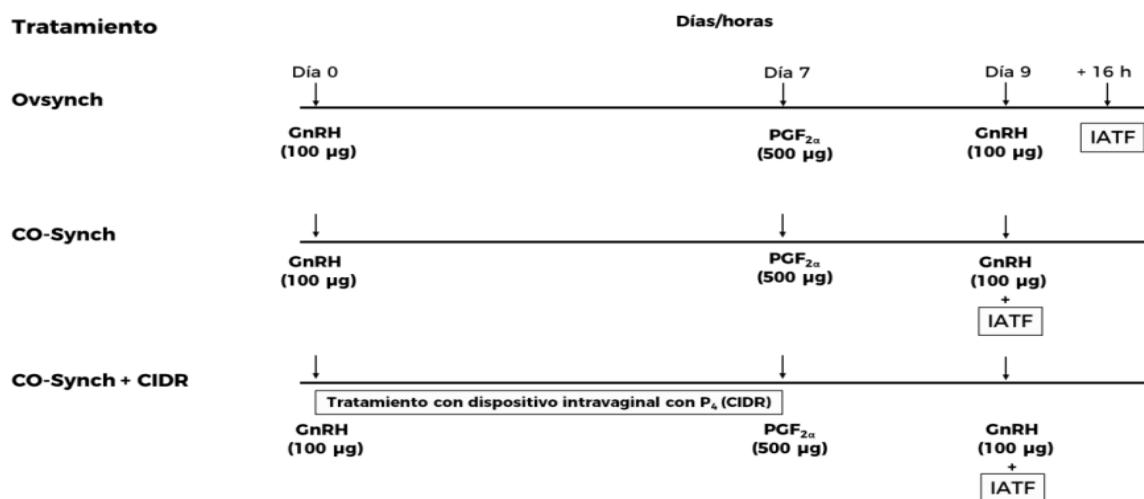
1.4.3 Protocolo CO-Synch + CIDR

El protocolo es similar a Co-Synch, difiere en la aplicación de CIDR (Controlled Intrernal Drug Release) el cual es un dispositivo intravaginal que contiene progesterona. El dispositivo se inserta en el día 0 junto con una aplicación de GnRH, en el día 7 se retira el dispositivo y se suministra PGF_{2α}, en el día 9 se aplica GnRH y se realiza la IA simultáneamente. El CIDR impide a las vacas presentar celo entre la administración de GnRH y PGF_{2α}. Una ventaja es que las vacas que están en anestro antes del protocolo comenzarán sus ciclos estrales brevemente después del retiro del implante (Lamb, 2010).

A continuación, en la figura 2 se esquematiza los protocolos Ovsynch, Co-Synch y COSynch+CIDR para IATF.

Figura 2

Representación esquemática de los protocolos Ovsynch, Co-Synch y COSynch+CIDR para IATF



Nota. (GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas; PGF_{2α}: prostaglandina F_{2α}; IATF: inseminación artificial a tiempo fijo. Adaptado de Ovarian function and response to estrus synchronization in Creole cattle in Mexico, por E. Pérez et al., 2022, *Review. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 13(2).

1.5 Estado actual del conocimiento sobre los protocolos hormonales para sincronización de celo en bovinos

Los programas de sincronización de celo han tenido un aumento significativo durante los últimos años en ganado de carne en América del Sur y en ganado de leche en América del Norte (de Graaff y Grimard, 2018).

En países tropicales, la implementación de estas técnicas biotecnológicas se vincula al objetivo de mejorar genéticamente el ganado mediante la cruce de bovinos de raza rústica con razas especializadas. Esto tiene como resultado la optimización de los índices productivos y reproductivos (Obando, 2020).

1.6 Hormonas utilizadas en la sincronización del celo

1.6.1 Progesterona

La progesterona (P4) desempeña un papel fundamental en el mantenimiento del embarazo, al proporcionar el estímulo hormonal necesario para el desarrollo del útero y la posterior fijación de la placenta, además de garantizar la inmovilidad uterina (Wanke, D., et al. 2010 como se citó en Hervas, 2011).

Es una hormona esteroidea que pertenece a una clase de hormonas conocidas como progestágenos, siendo ésta el principal progestágeno de origen natural. Su principal origen proviene del ovario (cuerpo lúteo) y la placenta, aunque también puede ser sintetizada en las glándulas adrenales. Durante la formación del cuerpo lúteo, la oxitocina estimula el crecimiento de células luteales grandes y pequeñas que producen la progesterona (Uribe et al., 2011).

La progesterona altera la función ovárica en la hembra al suprimir el estro y prevenir la ovulación, lo cual ocurre principalmente al evitar la liberación del pico preovulatorio de LH.

Como la progesterona no suprime la secreción de FSH, las ondas foliculares continúan emergiendo en presencia de un CL funcional (Adams, 2019).

1.6.2 Benzoato de estradiol

Es un compuesto sintético derivado del 17β Estradiol, una hormona esteroidea producida naturalmente por el folículo ovárico. Fue desarrollado con el propósito de mejorar los resultados reproductivos en tratamientos con progestágenos en bovinos. Al usar Benzoato de Estradiol junto con el progestágeno (considerado como día 0), genera una nueva onda folicular. Cuando se administra Benzoato de Estradiol después de retirar el progestágeno, se produce un pico preovulatorio de la hormona luteinizante (LH) debido al efecto positivo del estradiol sobre el GnRH y la LH. Esto resulta en una mayor sincronización de las ovulaciones. Se recomienda su uso en casos de anestro posparto, celo silencioso y como sincronizador del celo (Zoetis, s.f.).

1.6.3 Prostaglandina (PGF 2α)

Las prostaglandinas son ácidos grasos insaturados compuestos por veinte carbonos y derivados del ácido prostanóico. Estas sustancias se clasifican en cuatro grupos: A, B, E y F, dependiendo de la estructura química del anillo ciclo pentano. Cada grupo de prostaglandinas presenta distintas propiedades fisiológicas y farmacológicas. La principal acción biológica de las prostaglandinas en los bovinos es su capacidad para inducir la regresión del cuerpo lúteo. Cuando se administra una inyección de prostaglandina entre el día 6 y el día 16 del ciclo (momento en que ocurre naturalmente la descarga de PGF 2α), se provoca la regresión del cuerpo lúteo, poniendo fin a la fase luteínica. Como resultado, se inicia una nueva fase folicular y el animal presentará celo y ovulará (O'Connor, 2000 como se citó en Hervas, 2011).

1.6.4 Gonadotropina coriónica equina (eCG)

La eCG es una glicoproteína de gran peso molecular producida por las copas del endometrio en la yegua entre los 35 y 100 días de gestación (Murphy y Martinuk, 1991).

En la yegua, la eCG tiene una actividad LH, pero en la vaca, la eCG puede tener actividad FSH o LH, según las poblaciones de receptoras en el ovario en ese momento. Al ser administrada en vacas que presentan un folículo dominante en crecimiento, la eCG tiene la capacidad de estimular el crecimiento folicular, ya que puede unirse tanto a los receptores de LH como a los de FSH. Esta estimulación del crecimiento del folículo ovulatorio y las tasas de ovulación resultan en la formación de un cuerpo lúteo (CL) más grande y funcional, así como niveles más altos de progesterona circulante. Estos cambios contribuyen a tasas de supervivencia embrionaria más altas (Mapletoft et al., 2019).

1.6.5 Cipionato de estradiol

El Cipionato de Estradiol (CPE) es una versión semisintética de acción prolongada del 17 Beta Estradiol, una hormona esteroidea producida naturalmente en el folículo ovárico. Fue desarrollado con el propósito de mejorar los resultados de los tratamientos con progestágenos en bovinos. Es un estrógeno esterificado de metabolismo lento. Se administra por vía intramuscular en dosis de 3 a 10 mg en vacas y yeguas. Está indicado para:

- Complemento en la inducción y sincronización de celos con progestágenos en bovinos.
- Complemento en la inducción y sincronización de celos con prostaglandinas y GnRH.
- Complemento en el tratamiento del anestro posparto en bovinos (SANI, 2010 como se citó en Hervas, 2011).

Capítulo dos

Metodología

2.1 Localización del estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Agropecuaria UTPL, ubicada en el sector de Cajanuma al sur de la ciudad de Loja en las coordenadas UTM WGS-84, 17S: 699,148 / 9'548,196, cuenta con una altitud aproximada de 2300 m.s.n.m. El clima de esta zona según la clasificación de Köppen corresponde a templado lluvioso, mesotérmico semihúmedo, con temperatura media de 15.4°C y precipitación media de 780 mm por año (Sarango, 2008).

2.2 Animales

Se utilizaron 15 vacas mestizas de la raza Holstein, con edad y peso promedio de cuatro años y 350 kg, respectivamente.

2.3 Manejo de animales

Los animales antes de estar distribuidos entre los tratamientos fueron palpados rectalmente para determinar su inactividad ovárica con un ecógrafo veterinario (Aloka SSD 500) con un transductor lineal de 7.5 MHz. Así mismo fueron desparasitadas, mineralizadas con Selenofos (fosforilcolamina, selenito de sodio, sulfato de sodio, sulfato de zinc, yoduro de potasio) con dosis de 10 ml y vitaminadas con AD₃E con dosis de 5 ml, vía intramuscular respectivamente. Todas las vacas estuvieron pastoreando en potreros de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y se les proporcionó sales minerales.

2.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con un total de 15 vacas mestizas de la raza Holstein con un grupo control y dos tratamientos con 5 animales respectivamente.

2.5 Tratamientos

Se evaluó un grupo testigo y dos tratamientos hormonales. Los tratamientos corresponden a la aplicación de las hormonas en 10 días de duración.

2.5.1 Grupo testigo

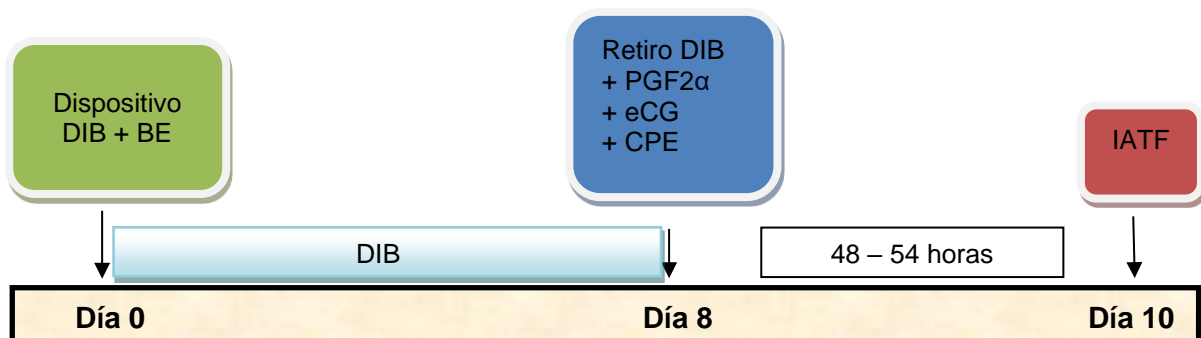
En este grupo no se realizó la aplicación de ningún protocolo hormonal, pero si la inseminación artificial a celo detectado.

2.5.2 Tratamiento 1

Consistió en implantar el dispositivo intravaginal bovino (DIB) que contiene 0.5 g de progesterona y una aplicación de BE (2 mg de Benzoato de estradiol) en el día 0, en el día 8 se retiró el DIB y se aplicó BE (2 mg de Benzoato de estradiol), eCG (400 UI de Gonadotropina coriónica equina), PGF2 α (500 μ g de Cloprostenol) y CPE (0.5 mg de Cipionato de estradiol) después de 48-54 horas se realizó la IATF (Figura 3).

Figura 3

Esquema del tratamiento 1

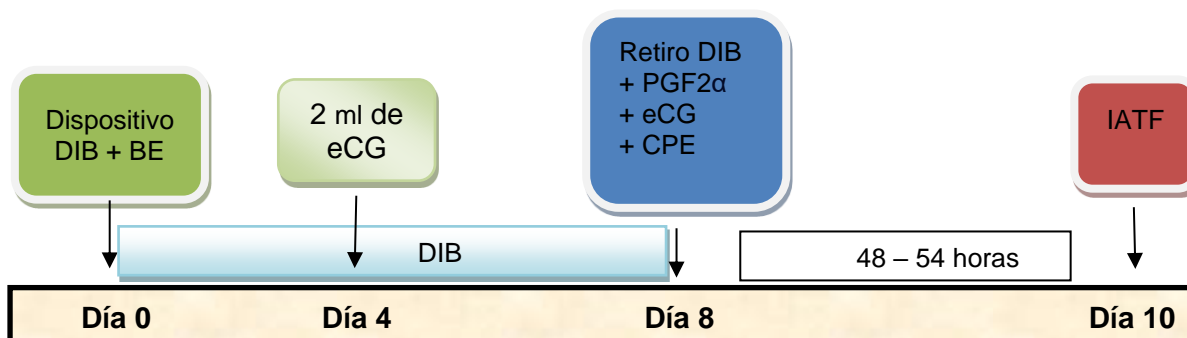


2.5.3 Tratamiento 2

Consistió en la aplicación del dispositivo intravaginal bovino (DIB) que contiene 0.5 g de progesterona y una aplicación de BE (2 mg de Benzoato de estradiol) en el día 0, en el día 4 se aplicó eCG (400UI de Gonadotropina coriónica equina), en el día 8 se retiró el DIB y se aplicó BE (2 mg de Benzoato de estradiol), eCG (400 UI de Gonadotropina coriónica equina), PGF2 α (500 μ g de Cloprostenol) y CPE (0.5 mg de Cipionato de estradiol) después de 48-54 horas se realizó la IATF (Figura 4).

Figura 4

Esquema del tratamiento 2



2.5.4 Descripción de productos hormonales utilizados

La tabla 2 indica la abreviación, significado, principio activo, nombre comercial del producto y dosis por animal.

Tabla 2

Abreviación, significado, principio activo, nombre comercial y dosis por animal

Abreviación	Significado	Principio activo	Nombre comercial	Dosis por animal
DIB	Dispositivo intravaginal bovino	Progesterona	DIB 0.5	1 unidad
BE	Benzoato de estradiol	Benzoato de estradiol	Sincrodiol	2 ml

PGF2 α	Prostaglandina F2 α	Cloprostenol base	Sincrocio	2 ml
eCG	Gonadotropina coriónica equina	Gonadotropina coriónica equina	Novormon	2 ml
CPE	Cipionato de estradiol	Cipionato de estradiol	Cipiosyn	1 ml

2.5.5 Acción de las hormonas utilizadas durante los protocolos

En la tabla 3 se describe la acción que ejercen las hormonas durante los tratamientos 1 y 2.

Tabla 2

Acción de las hormonas durante los tratamientos 1 y 2

Día	Hormonas	Acción
0	DIB 0.5 + 2 ml de BE	<p>En el primer día de los protocolos, el objetivo es inhibir las gonadotropinas hipofisarias mediante la combinación de P4 y BE</p> <p>DIB: Impregnado con P4 inhibe la liberación de LH sin afectar los niveles basales, lo que provoca la regresión de cualquier folículo dominante</p> <p>BE: Inhibe la secreción de FSH, la cual no ha sido inhibida completamente por la acción sola del DIB (Barret et al., 2006 citado por Barco Santamaría, 2018). Según Bo et al., (1994), tiene la finalidad de inducir la atresia de los folículos existentes con el objetivo de generar una nueva onda folicular aproximadamente entre tres y cinco días después de su administración, asegurando la presencia de un folículo nuevo y un oocito viable al culminar el tratamiento.</p>
4	2 ml de eCG	<p>eCG: Promueve el desarrollo de un folículo dominante para que alcance la fase preovulatoria (Evans et al., 1997).</p>
8	Retiro DIB 0.5 + 2 ml de PGF2 α + 2 ml de eCG + 1 ml de CPE	<p>Al retirar el DIB en el día ocho, se produce una reducción en la concentración de P4 en la sangre, eliminando así el "feedback" negativo que inhibe la secreción de LH. Esta liberación de LH es estimulada por la concentración de estrógenos generados por los folículos en crecimiento (Bó et al., 2002).</p> <p>PGF2α: Induce la luteólisis de cualquier cuerpo lúteo de la onda anterior, eliminando así una potencial fuente de P4 que podría provocar la atresia folicular (Baruselli et al., 2005).</p> <p>eCG: Promueve el desarrollo continuo del folículo dominante</p>

		CPE: Causa una retroalimentación positiva en el hipotálamo, provocando la liberación de GnRH, causando un aumento de los pulsos y la frecuencia de la hormona luteinizante (LH). Esto resulta en la unificación y reducción del tiempo de ovulación (Lefebvre y Block, 1992).
10	IATF	Inseminación a tiempo fijo

Nota. El T1 comprende los días 0,8 y 10, mientras que el T2 consiste en los días 0,4,8 y 10. Adaptado de *Comparación del porcentaje de preñez y días abiertos en vacas holstein con inseminación artificial a tiempo fijo vs inseminación artificial a celo detectado*, por L.C. Barco, 2018, <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/359>

2.5.6 Materiales y equipos para la inseminación artificial

- Termo de nitrógeno
- Termo de descongelamiento de pajuelas
- Pistola de inseminación artificial
- Pajuelas de semen
- Guantes ginecológicos descartables
- Corta pajuelas
- Termómetro
- Papel y gel lubricante de uso veterinario
- Desinfectante y antiséptico

2.5.7 Materiales y equipos para ecografía transrectal

- Guantes ginecológicos descartables
- Gel lubricante de uso veterinario
- Agua y antiséptico
- Ecógrafo veterinario Aloka SSD500

2.6 Evaluación de celo

Se llevó a cabo mediante la observación visual durante las horas matutinas y vespertinas (a las 06:00 am y 17:00 p.m., respectivamente), durante un lapso de 60 minutos. Durante este período, se examinaron los signos distintivos de celo en los animales, asignándoles puntuaciones de acuerdo con el sistema propuesto por Van Eerdenburg et al., (2002), quien estable lo siguiente (Tabla 4).

Tabla 3

Sistema de puntuación para comportamiento del estro

Signo	Puntos
Descarga vaginal mucosa	3
Intranquilidad y nerviosismo	5
Olfatear genitales de otras vacas	10
Apoyo de la barbilla	15
Monta pero no estática	10
Monta o intento de montar otras vacas	35
Montando la cabeza de lado sobre otra vaca	45
Monta estática	100

Nota. Adaptado de The Relationship between Estrous Behavioral Score and Time of Ovulation in Dairy Cattle, por F.J. Van Eerdenburg et al., 2002, *Journal of Dairy Science*, 85(5).

2.7 Inseminación artificial

Para los tres tratamientos se utilizó el mismo semen de un toro de raza Holstein.

2.8 Diagnóstico de preñez

Para el diagnóstico de preñez, se llevó a cabo un examen ecográfico transrectal 60 días después de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF). Se utilizó un ecógrafo veterinario Aloka SSD500 con un transductor lineal de 7.5 MHz para identificar la presencia o ausencia de estructuras indicativas del desarrollo temprano de la gestación.

Simultáneamente, se evaluó el estado fisiológico del aparato reproductor de cada hembra (Figura 5).

Figura 5

Diagnóstico de preñez



2.9 Variables analizadas

2.9.1 Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento

Se calcula dividiendo el total de vacas que presentan celo sobre el total de vacas sometidas a sincronización de celo a tiempo fijo.

2.9.2 Porcentaje de preñez al primer servicio

Se calcula dividiendo el total de vacas que aparecen preñadas en el diagnóstico de gestación sobre el total de vacas entoradas o inseminadas (INIA, s.f.).

2.9.3 Índice de ovarios

Se utilizó la técnica de palpación rectal con ecógrafo veterinario para medir el tamaño de los ovarios, donde se determinó el largo y ancho del ovario (Figura 6).

El cálculo del índice de los ovarios se realizó mediante la multiplicación de la longitud y la anchura de cada uno de los ovarios, tanto el izquierdo como el derecho, posteriormente se realizó la sumatoria del producto obtenido de los dos ovarios. Se tomaron como valores

normales los sugeridos por Zemjanis (1981) de 17 mm; Hincapié (2004); Vélez et al. (2002) de 18.75 mm como se citó en Flores (2005). El índice de ovarios se tomó como referencia para comparar los tamaños e índices de ovarios encontrados en la literatura y los obtenidos en este estudio.

Figura 6

Palpación rectal con ecógrafo veterinario para medir el tamaño de los ovarios

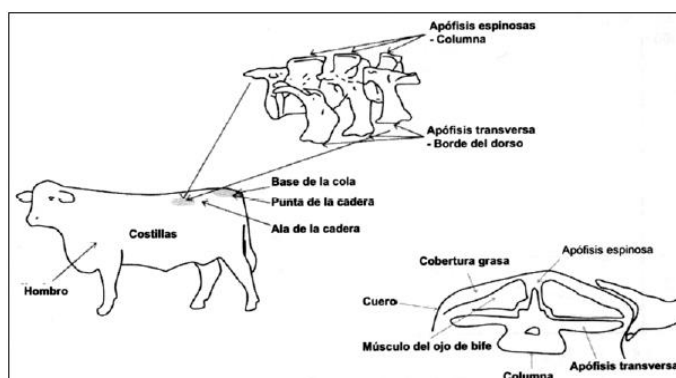


2.9.4 Condición corporal (escala 1 a 5)

La evaluación de la condición corporal se realizó en base a la escala 1 a 5 propuesta por Van Niekerk y Louw (1980) como se citó en Bavera y Peñafort (2005) basado en la palpación y observación de diferentes áreas anatómicas de la vaca (Figura 7).

Figura 7

Áreas anatómicas empleadas para evaluar la condición corporal



Nota. Tomado de *Condición Corporal (CC)*, por G. Bavera y C. Peñafort, 2005, www.produccion-animal.com.ar

2.9.4.1 Grados condición corporal escala 1 a 5

El concepto de condición corporal es análogo al de estado corporal, es decir, se refiere al nivel de reservas corporales que el animal tiene disponible para satisfacer las demandas de mantenimiento y producción. El puntaje 1 indica un animal extremadamente flaco y el puntaje 5 un animal excesivamente gordo (Bavera y Peñafort, 2005).

La tabla 5 describe las áreas y los grados de la condición corporal en la escala 1 a 5.

Tabla 4

Áreas y grados de la condición corporal escala 1 a 5

Áreas evaluadas	1	2	3	4	5
Lomo apófisis espinosa apófisis transversa	Muy prominentes al tacto	Pueden palpase, pero no son muy prominentes	No son visibles, pero pueden palpase	Son bien cubiertas	Apariencia redondeada por grandes áreas cubiertas de tejido graso
Huesos de la cadera	Muy prominentes	Prominentes, pero algo cubiertos	Visibles, pero no prominentes y bien cubiertos	No visibles y bien cubiertos	No visibles y muy cubiertas
Base de cola y áreas anexas. Estructuras óseas	Están muy unidas y prominentes	No son huecas, visibles, pero no prominentes	Ligeramente redondeadas. Cavidades a lado de la cola han desaparecido, tejido graso visible	Área redondeada por tejido graso a ambos lados de la cola que se mueve al caminar el animal	Polizones a ambos lados de la cola
Costillas	Prominentes pueden palpase individualmente	Ligeramente prominentes pueden	Se distinguen individualmente con capas de	Difícil de separar, los flancos tienen	Costillas no palpables, flancos muy esponjosos

		palparse individualmente	tejido graso palpable	aspecto esponjoso	
Estado general	Emaciado	Delgado pero saludable	Condición media	Ligeramente gordo tejido graso se mueve al caminar	Muy gordo marcha ondulante

Nota. Cada grado equivale aproximadamente a unos 50 – 70 kg, dependiendo del tamaño del animal.

Adaptado de *Condición Corporal (CC)*, por G. Bavera y C. Peñafort, 2005, www.produccion-animal.com.ar

2.9.4.2 Figura referencial de la condición corporal escala 1 a 5.

La figura 8 demuestra la condición corporal en ganado lechero Holstein.

Figura 8

Escala para medir la condición corporal en ganado lechero Holstein



Nota. CC= Condición corporal. (1= emaciadas, 2= delgadas, 3= peso medio, 4= engrasadas y 5= obesas). Adaptado de *Efecto de la condición corporal de vacas Holstein sobre la capacidad para retener agua, colágeno insoluble de corte en Longissimus dorsi*, por J. Mendoza-Carrillo et al., 2015, *Abanico Veterinario*, 5(2).

2.9.5 Evaluación económica de los tratamientos (dólares)

Se calculó el costo de preñez de los tratamientos tomando en cuenta los rubros de los costos de cada uno de los tratamientos efectuados dividido para el total de vacas gestantes en cada tratamiento.

2.10 Eficiencia reproductiva

Para obtener una eficiencia reproductiva adecuada, es esencial cumplir con los parámetros reproductivos preestablecidos.

2.10.1 Parámetros reproductivos

La tabla 6 indica los parámetros reproductivos utilizados en la evaluación de la eficiencia reproductiva en hatos lecheros. Los parámetros que describen de mejor manera la eficiencia reproductiva en una granja lechera son: el intervalo entre partos, los días abiertos.

Tabla 5

Parámetros reproductivos

Intervalo entre partos	Es el período de tiempo en meses que transcurre desde el parto de una vaca hasta el siguiente.
Días abiertos	Período de tiempo durante el cual una vaca no ha quedado preñada después del parto. Es decir, son los días desde el último parto hasta que la vaca es nuevamente inseminada y queda gestante
Tasa de preñez	Es el porcentaje de animales que quedan preñadas después de un período determinado, generalmente después de la inseminación. Se calcula dividiendo el número de vacas gestantes por el número total de animales examinadas en el examen de diagnóstico de preñez y multiplicando por 100.
Periodo seco	Período de descanso de la ubre entre dos lactancias consecutivas. Durante estos días, la vaca no se ordeña y se le permite recuperarse físicamente y prepararse para la próxima lactancia
Número de servicios por concepción	Es la cantidad promedio de servicios de inseminación requeridos para lograr una preñez. Un menor número de servicios por concepción indica una mejor eficiencia reproductiva.

Nota. Adaptado de *Manual de prácticas de reproducción animal*, por L. Rangel et al., 2009, Universidad Nacional Autónoma de México.

2.10.2 Valores óptimos de los parámetros reproductivos

Los valores óptimos de los parámetros reproductivos para determinar la eficiencia reproductiva de las ganaderías se representan en la tabla 7.

Tabla 6

Valores óptimos de los parámetros reproductivos

Indicador	Valor óptimo	Valor que indica problemas
Intervalo entre partos (meses)	13.5	>13.5
Días abiertos	120	>120
Tasa de preñez	18-21%	<18-21%
Periodo seco (días)	50-60	<45 días o >70 días
Número de servicios por concepción	2	>2

Nota. Adaptado de Manejo reproductivo de bovinos lecheros en la sierra ecuatoriana.

Edifarm QuickVet, por C. Albuja, s.f.,

https://quickvet.edifarm.com.ec/pdfs/articulos_tecnicos/Manejo_reproductivo.pdf

2.11 Levantamiento de información

Los datos necesarios para llevar a cabo este proyecto técnico se obtuvieron *in situ* y fueron suministrados por el técnico de la Estación Agropecuaria UTPL. Esta recopilación de información nos permitió obtener una comprensión más completa acerca del estado reproductivo de la Estación Agropecuaria UTPL.

2.12 Grupos de Trabajo

2.12.1 Grupo control

La tabla 8 detalla el número, edad, estado reproductivo, observaciones y condición corporal de los animales de este grupo.

Tabla 7*Información de los animales del grupo control*

Número	Edad	Estado Reproductivo	Observaciones	CC
2531	9.1	Vacía	Ninguna	2.5
3412	4.1	Vacía	CL, Ovario derecho traveculado	3
3419	3.1	Vacía	Ninguna	2.5
3344	7.2	Vacía	Ninguna	2.5
3336	7.1	vacía	Ninguna	3

2.12.2 Tratamiento 1

La tabla 9 detalla el número, edad, estado reproductivo, observaciones y condición corporal de los animales de este grupo.

Tabla 8*Información de los animales del tratamiento 1*

Número	Edad	Estado Reproductivo	Observaciones	CC
3422	4.2	Vacía	Ninguna	3
3420	4.1	Vacía	Ninguna	3
3415	4.1	Vacía	Ninguna	2.5
3417	4.2	Vacía	Ninguna	3
3408	4.5	Vacía	CL ovario derecho	2,5

2.12.3 Tratamiento 2

La tabla 10 detalla el número, edad, estado reproductivo, observaciones y condición corporal de los animales de este grupo.

Tabla 9*Información de los animales del tratamiento 2*

Número	Edad	Estado Reproductivo	Observaciones	CC
3425	3.1	Vacía	Ninguna	2.5
3428	5.1	Vacía	Presentó retención placentaria en el parto anterior	3
3416	4.1	Vacía	Ninguna	3
3423	4.6	Vacía	Ninguna	3
2510	9.1	Vacía	Presentó retención placentaria en el parto anterior	3

2.13 Análisis de IEP Y DA de los tratamientos y el grupo testigo

Se procedió a efectuar un análisis de la fecha de parto estimada y la fecha de parto real de cada grupo, utilizando las fechas actuales de la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) para calcular la fecha de parto estimada. También se evaluaron los Días Abiertos (DA) tomando en consideración la diferencia entre la fecha del último parto y la fecha de la inseminación. Estos dos indicadores son cruciales al evaluar la eficiencia reproductiva. Con esta información, podemos verificar si los valores de la Fecha de Parto Estimada y los Días Abiertos se encuentran dentro de los valores óptimos.

En las tablas 11, 12 y 13 se detallan el número, fecha último parto, fecha inseminación, fecha probable de parto, días abiertos, intervalo entre partos en meses del grupo control y los dos tratamientos.

Tabla 10*Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del grupo control*

Número	Fecha último parto	Fechas inseminación	Fecha probable de parto	Días abiertos	Intervalos entre partos	IEP Meses
2531	13/07/2023	10/11/2023	19/08/2024	120	403	13.2
3412	09/04/2023	21/07/2023	22/04/2024	103	379	12.5
3419	03/04/2023	25/07/2023	26/04/2024	113	389	12.8
3344	20/01/2023	14/04/2023	26/01/2024	84	371	12.2
3336	09/08/2023	05/04/2023	10/01/2024	239	519	17.1

Tabla 11*Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del tratamiento 1*

Número	Fecha ultimo parto	Fechas inseminación	Fecha probable de parto	Días abiertos	Intervalos entre partos	IEP Meses
3422	14/06/2022	13/03/2023	04/12/2023	272	538	17.7
3420	03/07/2022	13/03/2023	04/12/2023	253	519	17.1
3415	***	13/03/2023	04/12/2023	***	***	***
3417	***	13/03/2023	04/12/2023	***	***	***
3408	23/03/2022	21/03/2023	20/12/2023	372	637	20.9

Nota. En este tratamiento existen 2 nulíparas (3415 y 3417)**Tabla 12***Cálculos de días abiertos e intervalos entre partos del tratamiento 2*

Número	Fecha ultimo parto	Fechas inseminación	Fecha probable de parto	Días abiertos	Intervalos entre partos	IEP Meses
3425	***	21/04/2023	24/01/2024	***	***	***
3428	***	21/04/2023	24/01/2024	***	***	***
3416	08/11/2022	21/04/2023	24/01/2024	164	442	14.5
3423	04/09/2022	21/04/2023	24/01/2024	229	507	16.7
2510	20/02/2023	19/04/2023	22/01/2024	58	336	11

Nota. En este tratamiento existen 2 nulíparas (3425 y 3428)

2.14 Control y evaluación de resultados

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de celo manifiesto por tratamiento, porcentaje de preñez al primer servicio, condición corporal (escala 1 a 5), evaluación económica de los tratamientos (dólares), parámetros reproductivos: intervalo entre partos (meses), días abiertos, tasa de preñez, periodo seco, número de servicios por concepción. Los resultados obtenidos se analizaron de forma descriptiva, dado que el tamaño de la muestra no permite utilizar métodos estadísticos en su valoración. Para el índice de ovarios se utilizó un ANOVA, el nivel de significancia exigido fue $P=0.05$.

Capítulo tres

Resultados y discusión

3.1 Resultados de variables analizadas

3.1.1 *Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento*

Conforme se representa en la figura 9, se observa que el porcentaje de vacas que exhibieron respuesta a los tratamientos, evidenciado por signos claros de celo, muestra resultados destacados. En el marco de este estudio, todas las vacas sometidas a los dos tratamientos respondieron de manera consistente al manifestar celo, alcanzando un 100% en ambos tratamientos. Sin embargo, las hembras del Tratamiento 2 entraron en celo un día antes que las del Tratamiento 1, esto podría deberse a la aplicación de una dosis de eCG en el día 4 del protocolo.

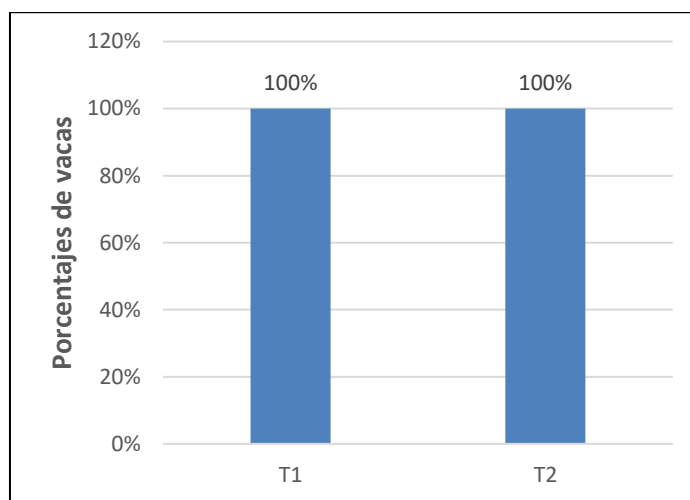
Estos resultados superan los valores especificados por González (2001), el cual establece que el porcentaje de celo manifiesto óptimo debe ser entre 60-70%.

En otras investigaciones llevadas a cabo por Espinosa, M. (2008), se observó un 75% de manifestación evidente de celo después de la aplicación de la hormona GnRH. Por otro lado, al analizar la respuesta a la inducción del estro mediante prostaglandina (PGF₂α) en vacas Holstein, Rojas (2012) registró un 20% de incidencia de celo, cifras que resultan inferiores a las obtenidas en la presente investigación. Estas discrepancias posiblemente se deban a la administración de la eCG (Gonadotropina coriónica equina), la cual induce un aumento en la frecuencia de los pulsos de LH, así como el crecimiento y la persistencia del folículo dominante con concentraciones notablemente elevadas de Estradiol. Estos factores provocan, por un lado, la manifestación del celo y, por otro lado, generan efectos a nivel endócrino. Asimismo, Fernández y Villegas (2002) mencionan que el empleo de eCG posibilita la inducción de la ovulación, siendo las estructuras ováricas ricas en estrógenos

(como los folículos terciarios y preovulatorios) las que provocan la manifestación del celo. En consecuencia, al aumentar el reclutamiento folicular, se favorece la expresión del celo.

Figura 9

Porcentaje de celo manifiesto por tratamiento



3.1.2 Índice de ovarios

Los ovarios son órganos pares y se encuentran ubicados detrás del riñón en cada uno de los lados. En bovinos, presentan una configuración semejante a la de una almendra, siendo común observar que el ovario derecho es de mayor tamaño que el izquierdo, principalmente debido a la influencia del cuerpo amarillo. Las dimensiones típicas de los ovarios en bovinos varían entre 3.5 y 4 cm de longitud, 2.5 cm de ancho y 1.5 cm de espesor, con un peso que fluctúa entre 15 y 20 gramos. Usualmente, se localizan cerca del centro del borde lateral del orificio anterior de la pelvis (Vélez et al., 2002).

Según Zemjanis (1981) es esencial realizar evaluaciones periódicas de los ovarios en animales sin indicios de preñez. En vacas adultas sin un cuerpo lúteo funcional, se espera que las dimensiones promedio de los ovarios varíen: la longitud de polo a polo debe oscilar entre 3.5 y 4 cm, el grosor entre 1.5 y 2 cm, y la distancia del borde fijo al borde libre debe situarse entre 2 y 2.5 cm. Se observa una variabilidad en el tamaño incluso entre los ovarios del mismo animal, y esta disparidad puede estar relacionada con la edad. Los ovarios que

carecen de estructuras funcionales, como el cuerpo amarillo o folículos de De Graaf desarrollados, presentan una forma semejante a la de una almendra. En contraste, aquellos que cuentan con un cuerpo amarillo desarrollado pueden alcanzar un diámetro de 2.5 a 3.5 cm, duplicando así el tamaño del ovario y generando una notable distorsión en su forma. Los cambios patológicos, como quistes ováricos, ooforitis y tumores, son responsables de esta distorsión anormal y deben ser identificados mediante evaluaciones regulares para salvaguardar la salud reproductiva de los animales.

En el presente estudio el índice de ovarios no presenta diferencias significativas ($P=0,533$) entre los tratamientos To, T1 y T2 (14.08 ± 0.70 , 13.60 ± 0.89 y 13.54 ± 0.85), respectivamente.

Los resultados observados en los tratamientos contrastan con las cifras recomendadas por Zemjanis (1981) de 17 mm y los reportados por Vélez et al. (2002) de 18.75 mm. Estas discrepancias podrían explicarse por la condición de acíclica que presentaban los animales, ya que, según el diagnóstico clínico, sus ovarios no mostraban ninguna estructura diferenciable en la superficie ovárica.

3.1.3 Condición corporal (escala 1 a 5)

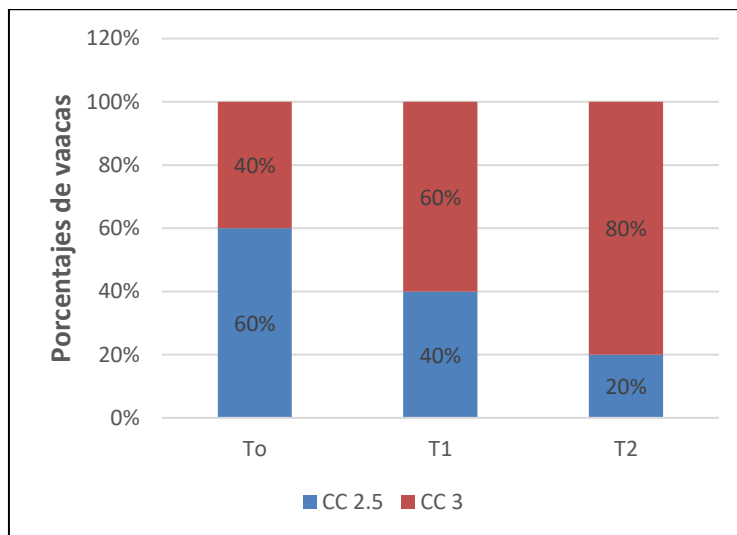
En la figura 10 se presenta un análisis de la condición corporal de los animales en cada tratamiento. Se observa que en el tratamiento T2, el 80% de los animales exhibe una condición corporal (CC) de 3, siendo este el porcentaje más alto en comparación con los tratamientos T1 (60%) y To (20%). Además, en el tratamiento To, el 60% de los animales muestra una CC de 2.5, seguido por el T1 con un 40%, y el T2 con un 20%, destacando diferencias de la condición corporal entre los diferentes tratamientos.

La eficiencia reproductiva guarda una estrecha relación con la condición corporal. Se ha observado que las vacas con una condición corporal superior a 3 exhiben una mejora del

29% en las tasas de preñez en comparación con aquellas con una condición corporal inferior a 2.5 (López, 2006).

Figura 10

Resultado de la evaluación de la condición corporal por tratamiento



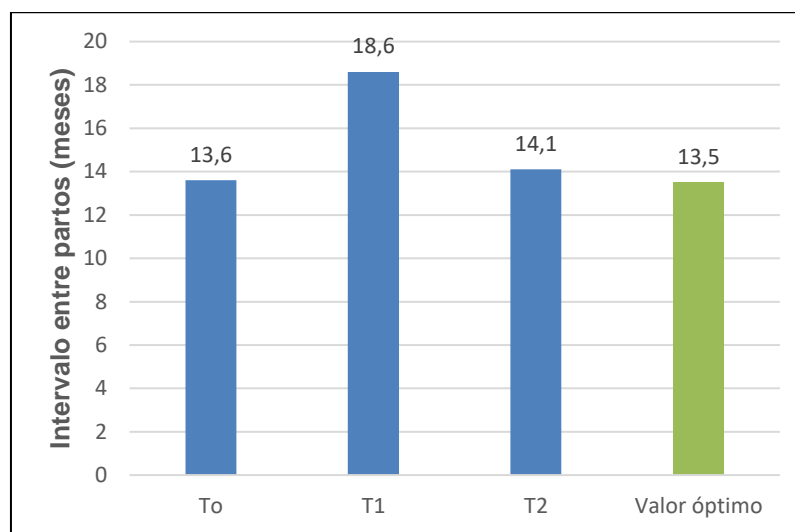
3.2 Resultados del primer objetivo: Identificar los parámetros reproductivos en vacas mejoradas de la Estación Agropecuaria de la UTPL mediante la aplicación de IATF

3.2.1 Intervalo entre partos

La evaluación del intervalo entre partos, medido en meses, revela marcadas variaciones en los tratamientos (To, T1, y T2) en relación con el valor óptimo de 13.5 meses. Aunque en el grupo control (To) se evidenció una cercanía al estándar recomendado con 13.6 meses, el tratamiento 1 (T1) mostró un notable incremento a 18.6 meses, distanciándose considerablemente del ideal. A pesar de la disminución observada en el tratamiento 2 (T2) a 14.1 meses, persiste una diferencia con el valor óptimo. Estos resultados destacan la necesidad de ajustar las estrategias de manejo reproductivo, especialmente en el T1, para potenciar la eficiencia reproductiva en el hato lechero (Figura 11).

Figura 11

Intervalo entre partos de los tratamientos vs valor óptimo



Según San Pedro (2012) la máxima eficiencia productiva en hatos lecheros se alcanza cuando se logra un intervalo entre partos de 365 días (12 meses). No obstante, para cumplir con este objetivo, es necesario que la concepción ocurra en un plazo inferior a los 85 días después del parto. Este lapso representa la fase económicamente más significativa para cualquier productor, dado que, en última instancia, es el factor determinante de la duración de un intervalo entre partos (Ariza, 2012).

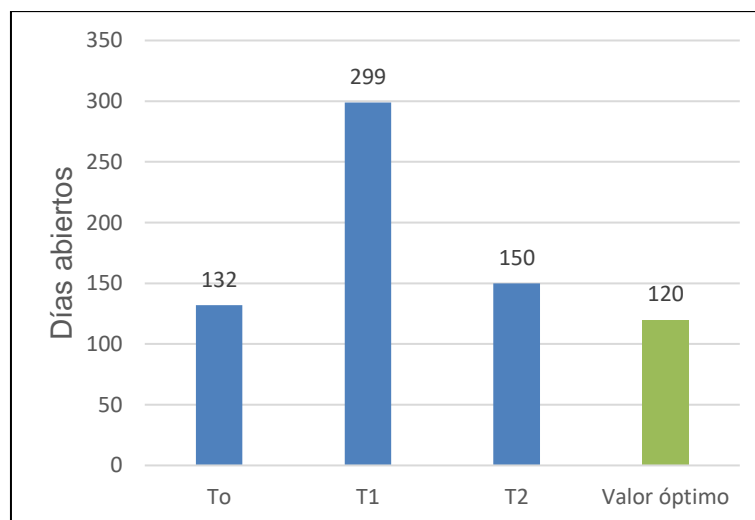
Para lograr este objetivo, es esencial realizar un manejo cuidadoso desde el parto para asegurar una adecuada involución uterina y facilitar la manifestación rápida del celo en la vaca. Además, se requiere una detección precisa de los periodos de calor para aumentar la efectividad en la concepción (Maraña, 2015). Las características fisiológicas, la limitada duración del período de celo y la frecuente presencia de celo nocturno y anestro postparto (Ruiz-Cortés y Olivera-Ángel, 1999) dificultan la tarea de detectar los períodos de celo (Pinheiro et al., 1998) alargando el lapso entre el parto y la concepción, lo cual impacta adversamente el rendimiento reproductivo del hato (Baruselli et al., 2004).

3.2.2 Días abiertos

El análisis de los días abiertos muestra cifras distintivas en los diferentes tratamientos. En el grupo de control (To), se registra un total de 132 días abiertos. No obstante, en el T1, se observa un incremento considerable, alcanzando los 299 días abiertos, lo cual indica una extensión significativa en comparación con el valor óptimo de 120 días. En el T2, a pesar de una mejora en relación con el T1, todavía se registra un total de 150 días abiertos, sobrepasando el valor ideal. Estos resultados subrayan la importancia de evaluar y ajustar las prácticas de manejo reproductivo para optimizar la eficiencia en la gestión del intervalo entre partos, con el objetivo de reducir los días abiertos y mejorar así los parámetros reproductivos del hato (Figura 12).

Figura 12

Días abiertos por tratamientos vs valor óptimo



Según González et al. (2007) la causa primordial del incremento en los días abiertos en programas de inseminación artificial es la demora en la reanudación del ciclo ovárico después del parto (anestro posparto). La prolongación del anestro se presenta como una preocupación significativa en los sistemas ganaderos. Este fenómeno fisiológico ocurre con mayor frecuencia después del parto, siendo inicialmente resultado de la recuperación hormonal y la involución uterina, que requiere entre 35 y 50 días para que el útero retorne a

su tamaño normal. Sin embargo, la persistencia del anestro se ve influenciada por diversos factores como la época de parto, la raza, la edad y la condición corporal (Puentes, 2016).

3.2.3 Porcentaje de preñez por tratamiento

Según los resultados obtenidos, se evidencia una variabilidad en los porcentajes de preñez entre los grupos de tratamientos. El grupo control (To) muestra un porcentaje de preñez del 40%, mientras que tanto el tratamiento T1 como el tratamiento T2 exhiben un aumento en la tasa de preñez, alcanzando ambos un 60%. Estos hallazgos sugieren que los tratamientos T1 y T2 podrían estar asociados con la aplicación positiva de eCG aumentando el porcentaje de preñez en comparación con el grupo control (Figura 13).

Garnica (2013) menciona que la hormona gonadotropina coriónica equina (eCG) tiene una vida media de aproximadamente 2 días en la hembra bovina, pero persiste en la circulación sanguínea por más de 10 días. Cuando se administra unas horas antes de la ovulación, aumenta el desarrollo folicular y la probabilidad de preñez. Este efecto se debe a su capacidad para incrementar los receptores de FSH y LH en los folículos, estimulando así el crecimiento folicular y, por ende, aumentando la tasa de ovulación, lo enunciado tiene concordancia con los resultados encontrados, ya que el porcentaje de preñez fue superior en el T1 y T2 con respecto al grupo control.

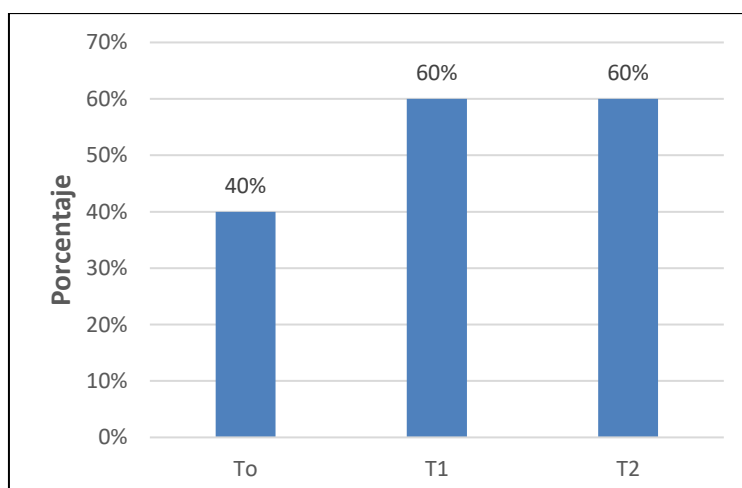
Una baja tasa de preñez se debe principalmente a la elevada incidencia de muerte embrionaria temprana. Tanto en animales con antecedentes de infertilidad como en aquellos con fertilidad normal, se ha observado que aproximadamente el 90% de los ovocitos son fertilizados. No obstante, una proporción significativa de los embriones no logra sobrevivir antes de transcurrir los 16 días después de la inseminación, siendo los primeros siete días el período en el que se registran las pérdidas embrionarias más significativas (Hernández y Morales, 2001).

En un estudio realizado por Nasser et al. (2004) en vaquillonas cruza *bos-índicus*, evaluaron los efectos de la administración de 400 UI de eCG en los días 5 y el día 8, observando que el tratamiento con eCG en el quinto día resultó en un aumento en el número de cuerpos lúteos y en las concentraciones plasmáticas de progesterona, acompañado de una tendencia al incremento en las tasas de concepción. Los autores sugieren que este aumento en la formación de cuerpos lúteos se atribuye a la estimulación con eCG aplicada a las vaquillonas en el quinto día del protocolo.

Por lo tanto, la administración de eCG estimula el crecimiento folicular al actuar como hormona folículo estimulante y luteinizante (FSH y LH). Este estímulo conduce al aumento del tamaño del folículo preovulatorio, lo que resulta en un incremento en las concentraciones plasmáticas de progesterona después de la ovulación. Este proceso mejora el desarrollo embrionario y favorece el mantenimiento de la preñez (Layme y Málaga, 2019).

Figura 11

Porcentaje de preñez por tratamiento



3.2.4 Periodo seco

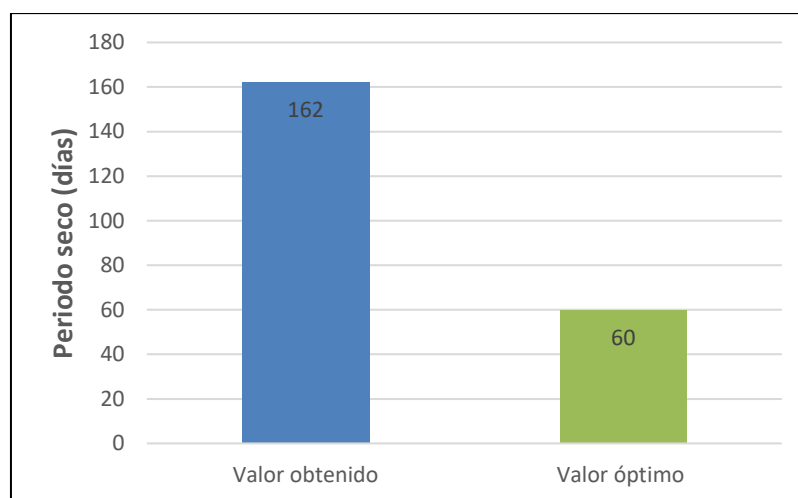
En la figura 14 se presenta una comparación entre el valor obtenido en esta investigación y el valor óptimo del período seco en vacas. Se observa que el valor obtenido

es considerablemente más extenso, alcanzando los 162 días, mientras que el valor óptimo recomendado es de 60 días.

La función primordial del período seco radica en posibilitar la regeneración de las células productoras de leche (células epiteliales) dañadas o muertas antes de que inicie la próxima lactancia. Según Capuco et al. (1997) esta actividad puede completarse aproximadamente 25 días después de haber comenzado el proceso de secado de los animales. Por consiguiente, un período seco que sea menor a 60 días y mayor a 30 días resulta adecuado para posibilitar que, con un manejo apropiado, una alimentación adecuada y una condición corporal saludable, las vacas logren una producción óptima en la subsecuente lactancia.

Figura 12

Duración del Período Seco en Vacas - Valor Obtenido y Valor Óptimo



3.2.5 Número de servicios por concepción

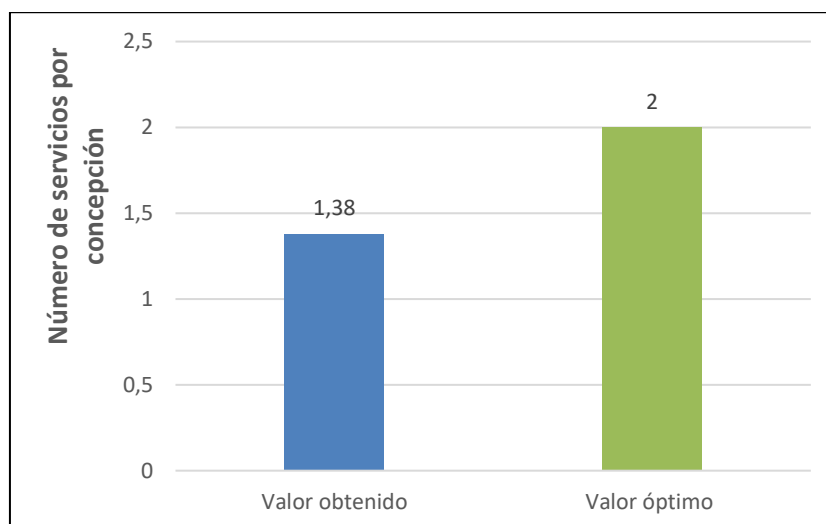
El valor promedio obtenido de servicios por concepción es de 1.38, evidenciando una eficiencia del 69%, mientras que el óptimo es 2 (Figura 15).

Monge y Chamorro (1985) en un estudio determinaron el promedio de servicios por concepción en la raza Holstein pura fue de 1.78, mientras que para aquellos con un rango de

pureza de 50 a 75%, el promedio fue de 1.67. Estos resultados indican que los animales cruzados exhiben una eficiencia superior en comparación con sus contrapartes de raza pura.

Figura 13

Número de servicios por concepción- Valor Obtenido y Valor Óptimo

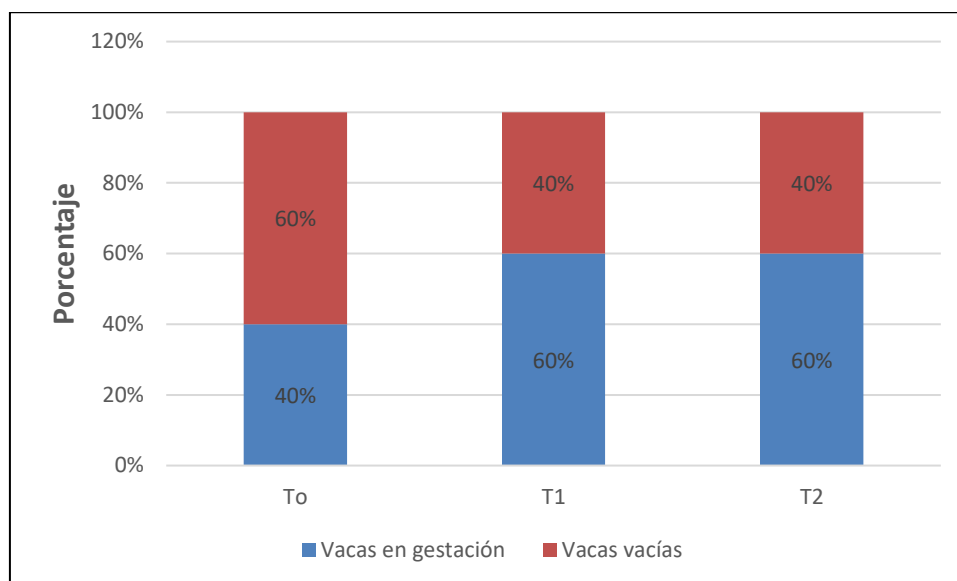


3.3 Resultados del segundo objetivo: Identificar el protocolo de sincronización de celo que mejor porcentaje de preñez al primer servicio presente mediante la sincronización de celo a tiempo fijo

Los resultados del porcentaje de preñez al primer servicio revelan diferencias notables entre los grupos analizados. En el grupo control, se registró un 40% de preñez al primer servicio. En contraste, tanto en el Tratamiento 1 como en el Tratamiento 2, se observó un aumento significativo, alcanzando un 60% en ambos casos. Cabe destacar que en el Tratamiento 2, donde se aplicó una dosis extra de 2 ml de eCG en el día 4, se mantuvo el mismo nivel de eficacia reproductiva que en el Tratamiento 1. Estos resultados indican una mejora significativa en el porcentaje de preñez con la implementación de ambos tratamientos en comparación con el grupo control. La consistencia en el rendimiento reproductivo entre los tratamientos sugiere que la dosis extra en el Tratamiento 2 no generó un impacto adicional en el porcentaje de preñez al primer servicio (Figura 16).

Figura 14

Porcentaje de preñez al primer servicio por tratamiento



Los resultados encontrados en esta investigación se asemejan con el trabajo realizado por Garnica et al. (2015) en Ecuador, asegurando que utilizando 400 UI de eCG en protocolos de IATF se obtiene un porcentaje de preñez del 62%.

La ausencia de una respuesta positiva en el Tratamiento 2 donde se suministró una dosis de eCG (400UI de Gonadotropina coriónica equina) en el día 4 sobre el porcentaje de preñez al primer servicio puede atribuirse al hecho de que, al encontrarse en una condición corporal óptima, es posible que no necesiten el estímulo adicional proporcionado por la eCG para el crecimiento folicular. Por lo tanto, la aplicación extra de eCG podría ser beneficiosa únicamente para las vacas que presentan una condición corporal comprometida (Bó et al., 2007).

3.4 Resultados del tercer objetivo: Calcular el costo de preñez de los protocolos de sincronización de celo aplicados

La tabla 14 detalla la cantidad, producto, dosis por animal, precio unitario y precio total de la aplicación de los tratamientos evidenciando que durante el presente estudio, se observó

un incremento en el costo por vaca entre el T1 y el T2. En el T1, el costo por vaca fue de \$85.5, mientras que en el T2, el precio aumentó a \$93.2. Este aumento en el costo por vaca en el T2 se atribuye a la aplicación de una dosis extra de 2 ml de Novormon (eCG) en el día 4 del protocolo.

Tabla 13

Costo de insumos por vaca utilizados en cada tratamiento

Cantidad	Producto	Ítem			Costo por vaca	
		Dosis por animal	Precio unitario	Precio total	T1	T2
1	Sincrogest FDA x 10 implantes	1 unidad	190	190	19	19
1	Sincrodiol x 50 ml	2 ml	24	24	1	1
1	Sincrocio x 20 ml	2 ml	36	36	3.6	3.6
1	Novormon x 25 ml	2 ml	96	96	7.7	15.4
1	Cipiosyn x 50 ml	1 ml	15	15	0.3	0.3
10	Pajuelas	1 unidad	24	240	24	24
10	Servicios profesionales	1 unidad	30	300	30	30
TOTAL				901	85.5	93.2

Nota. Se considera todos los rubros requeridos para implementar los protocolos

La tabla 15 muestra los costos de la aplicación del protocolo de IATF para ambos tratamientos y el análisis de costos por vaca preñada, se multiplicó el número de animales sometidos por tratamiento por el costo por vaca. En el T1, el costo total del protocolo fue de \$427.5, con un total de 3 vacas preñadas. Esto condujo a un costo promedio por vaca preñada de \$142.5. Por otro lado, en el T2, el costo total del protocolo aumentó a \$466, manteniéndose constante el número de vacas preñadas en 3. Sin embargo, el costo por vaca preñada en el T2 ascendió a \$155.3.

Tabla 14*Análisis de costos por vaca preñada*

	Tratamiento	
	T1	T2
Número de animales sometidos por tratamiento	5	5
Costo total del protocolo	427.5	466
Costo por vaca	85.5	93.2
Número de vacas preñadas	3	3
Costo por vaca preñada	142.5	155.3

Conclusiones

Los resultados destacan un éxito uniforme en el porcentaje de celo manifiesto con ambos tratamientos, llegando al 100%. La observación de que las hembras del Tratamiento 2 mostraron celo un día antes indica la influencia notable de la dosis de eCG aplicada en el día 4 del protocolo.

Una condición corporal adecuada favorece la respuesta hormonal, la manifestación del celo y la tasa de preñez, contribuyendo así al éxito general del programa de IATF

Se comprobó que los dos protocolos planteados en este trabajo son ideales ya que se obtuvo tasas de preñez del 60% por tratamiento.

El período seco (162 días) no está dentro de los rangos de los parámetros reproductivos considerados como ideales para una buena eficiencia reproductiva.

El promedio de servicios por concepción (1.38) se sitúa en el parámetro óptimo (2), y se destaca una mayor eficiencia en los animales cruzados en comparación con aquellos de raza pura.

El uso de una dosis de eCG en vacas, administrada en el día 4 del protocolo en el tratamiento 2 no mejoró el porcentaje de preñez al primer servicio.

El análisis de costos por vaca preñada muestra una diferencia de \$12.8 entre T1 y T2, indicando un aumento en los costos asociados con la implementación del protocolo T2.

La aplicación de métodos de sincronización de celos resulta positiva al alcanzar altas tasas de preñez y favorecer la normalización del ciclo en animales que inicialmente no quedaron gestantes durante el tratamiento.

Recomendaciones

En vacas lecheras con condiciones de manejo similares que en este ensayo se recomienda usar cualquiera de los dos protocolos, sin embargo, por los costos de vaca preñada se recomienda el tratamiento 1.

Utilizar una dosis extra de 400 UI de eCG en el protocolo de sincronización del celo de vacas lecheras con baja condición corporal <2.5.

Realizar la evaluación general de los animales previo a la implementación de cualquier protocolo de IATF para garantizar buenos resultados.

Integrar prácticas pecuarias basadas en la salud, la alimentación y el manejo esencial para prevenir complicaciones en el ámbito reproductivo.

Emplear métodos de sincronización del celo con la finalidad de corregir los problemas observados en vacas que presentan anestro posparto.

Referencias

- Adams, G. P. (2019). Comparative patterns of follicle development and selection in ruminants. *Bioscientifica Proceedings*, 54. <https://doi.org/10.1530/biosciprocs.4.002>
- Adams, G. P., Jaiswal, R., Singh, J., y Malhi, P. (2008). Progress in understanding ovarian follicular dynamics in cattle. *Theriogenology*, 69(1), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.09.026>
- Albuja, C. (s.f.). Manejo reproductivo de bovinos lecheros en la sierra ecuatoriana. *Edifarm QuickVet*. https://quickvet.edifarm.com.ec/pdfs/articulos_tecnicos/Manejo_reproductivo.pdf
- Ariza, C. (2012). *Análisis productivo y reproductivo de un hato lechero* [Tesis de grado, Corporación Universitaria Lasallista]. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/579/1/Analisis_hato_lechero.pdf
- Barco, L. C. (2018). *Comparación del porcentaje de preñez y días abiertos en vacas holstein con inseminación artificial a tiempo fijo vs inseminación artificial a celo detectado* [Tesis de grado Universidad de La Salle]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/359>
- Baruselli, P. S., Reis, E. L., Marques, M. O., Nasser, L. F., y Bó, G. A. (2004). The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Animal Reproduction Science*, 82–83, 479–486. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.025>
- Bavera, G., y Peñafort, C. (2005). *Condición Corporal (CC)*. www.produccion-animal.com.ar
- Becaluba, F. (2006). *Métodos de sincronización de celos en bovinos*. www.produccion-animal.com.ar
- Bo, G. A., Adams, G. P., Pierson, R. A., Tribulo, H. E., Caccia, M., y Mapletoft, R. J. (1994). Follicular wave dynamics after estradiol-17 β treatment of heifers with or without a

- progestogen implant. *Theriogenology*, 41(8), 1555–1569. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)90821-Y](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)90821-Y)
- Bó, G. A., Cutaia, L. E., Souza, A. H., y Barrselli, P. S. (2007). Systematic reproduction management in dairy herds. *New Zeland Veterinary Association (NZVA)*, 155–168.
- Burke, J. M., De La Sota, R. L., Risco, C. A., Staples, C. R., Schmitt, É. J.-P., y Thatcher, W. W. (1996). Evaluation of Timed Insemination Using a Gonadotropin-Releasing Hormone Agonist in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1385–1393. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76496-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76496-2)
- Capuco, A. V., Akers, R. M., y Smith, J. J. (1997). Mammary Growth in Holstein Cows During the Dry Period: Quantification of Nucleic Acids and Histology. *Journal of Dairy Science*, 80(3), 477–487. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75960-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75960-5)
- Colazo, M. G., y Mapletoft, R. (2014). Fisiología del ciclo estral bovino. *Ciencia Veterinaria*, 16(2), 31–46. <https://doi.org/10.19137/cienvet20141623>
- de Graaff, W., y Grimard, B. (2018). Progesterone-releasing devices for cattle estrus induction and synchronization: Device optimization to anticipate shorter treatment durations and new device developments. *Theriogenology*, 112, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.09.025>
- Durán, F., y Latorre, D. F. (2009). *Inseminación y transferencia de embriones en animales de granja* (Primera edición). Grupo Latino Editores S.A.S.
- Fernández, A., y Villegas, N. (2002). Efecto de la administración de eCG o benzoato de estradiol asociados a PGF2 α sobre la fertilidad de vacas Hereford de baja condición corporal destetadas precozmente. *Agrociencia*, 2, 33–36. <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL6/2/p33-36.pdf>
- Flores, P. (2005). *Evaluación de dos protocolos de sincronización de celo en vaquillas acíclicas, utilizando PGF2 α (Lutalyse®) y un análogo de progesterona (Eazi Breed) en Rancho*

- Rosa, Jamastran, Honduras [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5215>
- Garnica, F., Sagbay, C., Brito, M., Masache, J., Webster, P., y Minguez, C. (2015). *Efecto de la gonadotropina coriónica equina (ecg) en la tasa de fertilidad en vacas de leche cruzadas bajo condiciones de altitud en ecuador*. https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2015/comunicaciones/2015_Rep_05.pdf
- Garnica, P. (2013). *Efecto de la gonadotropina coriónica equina (eCG) en la ovulación con protocolos de IATF en vacas holstein posparto* [Tesis De Grado de Magíster en Reproducción Animal, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/406>
- González, C. (2001). *Reproducción bovina*. Ed. Fundación Giraz.
- González, M., Gutiérrez, M., Rosillo, P., Magaña, L., y Gutiérrez, E. (2007). *Uso de dispositivos intravaginales de liberación de progesterona + eCG-PMSG en un protocolo de sincronización de vacas lecheras*. <http://www.syntexar.com/SGC/userfiles/pdf/IATF%20en%20vaca%20lechera.PDF>
- Hafez, E. (1989). *Reproducción e inseminación artificial en animales*. Interamericana MC Graw-Hill.
- Hernández, J. (2016). *Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros*. https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf
- Hernández, J., y Morales, J. (2001). *Fallas en la concepción en el ganado lechero* [Universidad Autónoma de México]. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/423/42332406.pdf>
- Hervas, V. (2011). *Evaluación de diferentes métodos de sincronización del celo en vacas lecheras en la provincia de Pastaza* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1009/1/17T01052.pdf>
- Huanca, W. (2001). Inseminación artificial a tiempo fijo en vacas lecheras. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 12(2), 161–163.

- INIA. (s.f.). *Indicadores de eficiencia reproductiva*.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12105/1/Ficha-tecnica-44-Indicadores-de-eficiencia-reproductiva.pdf>
- INTAGRI. (2018). *Métodos de sincronización de celo en bovinos*.
<https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/metodos-de-sincronizacion-de-celo-en-bovinos>
- Lamb, C. (2010). *Estrus synchronization protocols for cows*. https://beefrepro.org/wp-content/uploads/2020/09/Cliff_Lamb.pdf
- Lamb, G. C., Smith, M. F., Perry, G. A., Atkins, J. A., Risley, M. E., Busch, D. C., y Patterson, D. J. (2010). Reproductive Endocrinology and Hormonal Control of the Estrous Cycle. *The Bovine Practitioner*, 44(1), 18–26. <https://doi.org/10.21423/bovine-vol44no1p18-26>
- Layme, P., y Málaga, J. (2019). Efecto de GnRh y eCG en la tasa de concepción y niveles de progesterona en vacas inseminadas a celo natural. *Revista de Investigaciones*, 8(3), 1164–1172. <https://doi.org/10.26788/riepg.2019.3.135>
- Lefebvre, D. M., y Block, E. (1992). Effect of Recombinant Bovine Somatotropin on Estradiol-Induced Estrous Behavior in Ovariectomized Heifers. *Journal of Dairy Science*, 75(6), 1461–1464. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77902-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77902-8)
- López, F. J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas holstein. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4 (1), 77–86.
- Mapletoft, R., Baruselli, P., y Bó, G. (2019). *¿Que debemos saber para decidir sobre la utilización de eCG en los programas de IATF EN doreos de carne y leche? XIII Simposio Internacional de Reproduccion Animal*.
- Mapletoft, R., Bó, G., Baruselli, P., Menchaca, A., y Sartori, R. (2022). Evolution of knowledge about ovarian physiology and its contribution to the application of reproductive biotechnologies in South America. *Spermova*, 12(1), 140–151. <https://doi.org/10.18548/aspe/0010.19>

- Maraña, P. (2015). *IATF (Inseminación artificial a tiempo fijo) en Bovinos*.
<https://www.veterinariargentina.com/revista/2015/04/inseminacion-artificial-a-tiempo-fijo-en-bovinos/>
- Martínez, A. C. (2009). *Evaluación de Cuatro Protocolos de Sincronización de Celos a los 35 Días Posparto en Vacas Cruzadas Bos Taurus por Bos Indicus sobre el Porcentaje de Preñez y Días Abiertos con I.A.T.F* [Universidad de la Salle].
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1200&context=zootecnia>
- Mendoza-Carrillo, J., Martínez-Yáñez, R., Díaz-Plascencia, D., y Ávila-Ramos, F. (2015). Efecto de la condición corporal de vacas Holstein sobre la capacidad para retener agua, colágeno insoluble de corte en Longissimus dorsi. *Abanico Veterinario*, 5(2), 19–27.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322015000200019&lng=es&tlng=es.
- Monge, D., y Chamorro, C. A. (1985). Cantidad de servicios por concepción en dos grupos raciales de ganado lechero. *Tecnología En Marcha*, 8(2), 9–13.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7427479>
- Motta, P. A., Ramos, N., González, C. M., y Castro, E. C. (2011). Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina. *Revista Veterinaria Y Zootecnia (On Line)*, 5(2), 88–99. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4459>.
- Murphy, B., y Martinuk, S. (1991). Equine Chorionic Gonadotropin. *Endocrine Reviews*, 12(1), 27–44. <https://doi.org/10.1210/edrv-12-1-27>
- Nasser, L. F., Reis, E. L., Oliveira, M. A., Bó, G. A., y Baruselli, P. S. (2004). Comparison of four synchronization protocols for fixed-time bovine embryo transfer in Bos indicus × Bos taurus recipients. *Theriogenology*, 62(9), 1577–1584.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.03.013>

- Obando, A. (2020). *Bases farmacológicas y actualización de la sincronización del celo bovino* [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/items/40be89e0-7055-43b1-a3cf-6324e9f4fdbb>
- Pardo, R. (2012). *Reproducción y endocrinología*. <https://www.veterinaria.org/index.php/REDVET>
- Pérez, E., Quezada, A., Carrera, J. M., Álvarez, A., Ochoa, J., Chávez, M., y Román, S. (2022). Ovarian function and response to estrus synchronization in Creole cattle in Mexico. *Review. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 13(2), 422–451. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.6032>
- Peters, A., y Ball, P. (1991). *Reproducción del ganado vacuno*. s/e.
- 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 (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)
- Puentes, J. (2016). *Reducción de los días abiertos mediante implementación de IATF en la Hacienda La Vittoriana*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia>
- 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), 915-23. 10.1016/0093-691x(95)00279-h.
- Quezada, A. (2013). *Parámetros reproductivos, características fisiológicas del ciclo estral y efecto de eCG en la sincronización del estro de bovinos criollos del Estado de chihuahua* [Universidad Autónoma de Baja California]. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/1731/1/AGR011686.pdf>

- Rangel, L., Alárcon, M., Galina, C., Hernández, J., Porras, A., Valencia, J. de J., Balcazar, J., Boeta, M., Flores, H., y Páramo, R. (2009). *Manual de prácticas de reproducción animal*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rippe, C. (2009). El ciclo estral. In *Dairy Cattle Reproduction Conference* (pp. 111–116). <https://n9.cl/lugjz>
- Ruiz-Cortés, Z. T., y Olivera-Angel, M. (1999). Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Animal Reproduction Science*, 54(4), 211–220. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(98\)00152-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00152-3)
- San Pedro, J. (2012). *Manejo reproductivo en las explotaciones lecheras*. s/e.
- Santos, J. E. P. (2007). *Programas de reproducción para vacas lecheras en lactación*. *Frisona Española*, (160), 102–110. <https://www.revistافرisona.com/Portals/0/articulos/n160/A16004.pdf>
- Sarango, R. (2008). *Los sistemas de información geográfica* [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/867>
- Shearer, J. K. (2003). *Reproductive Anatomy and Physiology of Dairy Cattle*. <https://www.sitiodocedro.com.br/reproductive-anatomy-and-physiology-of-dairy-cattle/>
- Uribe, L., Osorio, J., y Correa, A. (2011). El cuerpo lúteo: una visión inmunológica. *Biosalud*, 10, 87–100.
- Van Eerdenburg, F. J. C. M., Karthaus, D., Taverne, M. A. M., Mercis, I., y Szenci, O. (2002). The Relationship between Estrous Behavioral Score and Time of Ovulation in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1150–1156. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74177-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74177-5)
- Vélez, M., Hincapié, J., Matamoros, I., y Santillán, R. (2002). Producción de ganado lechero en el trópico. *Zamorano Academic Press*, 1–306.
- Zemjanis, R. (1981). *Reproducción animal diagnóstico y técnicas terapéuticas*. Ed. Limusa.

Zoetis. (s.f.). *Benzoato de estradiol*. <https://www2.zoetis.mx/content/es/pages/productos-y-soluciones/Ganaderia/PDFs/GA-FT-2022-Benzoato-De-Estradiol.pdf>

Apéndice

Apéndice A. Índice De Ovarios

Tabla A1

Grupo control

Número	Izquierdo	Derecho
2531		
3412		
3344		

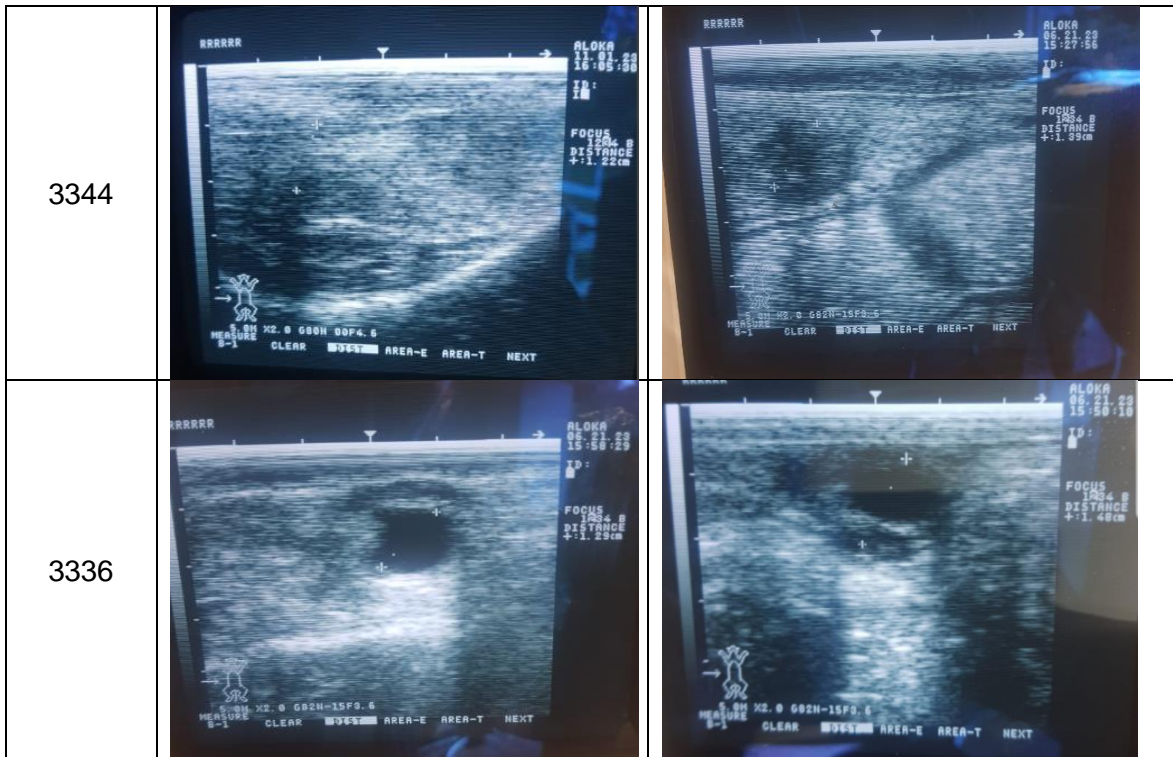
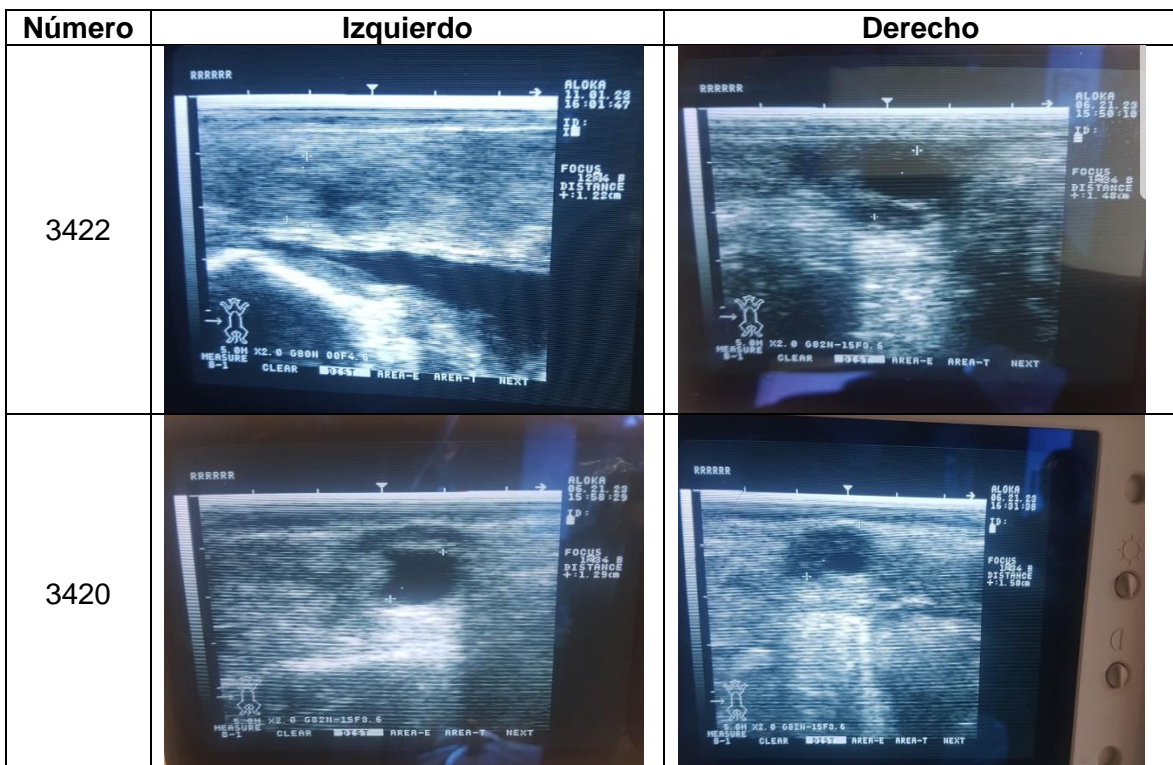


Tabla A2

Tratamiento 1

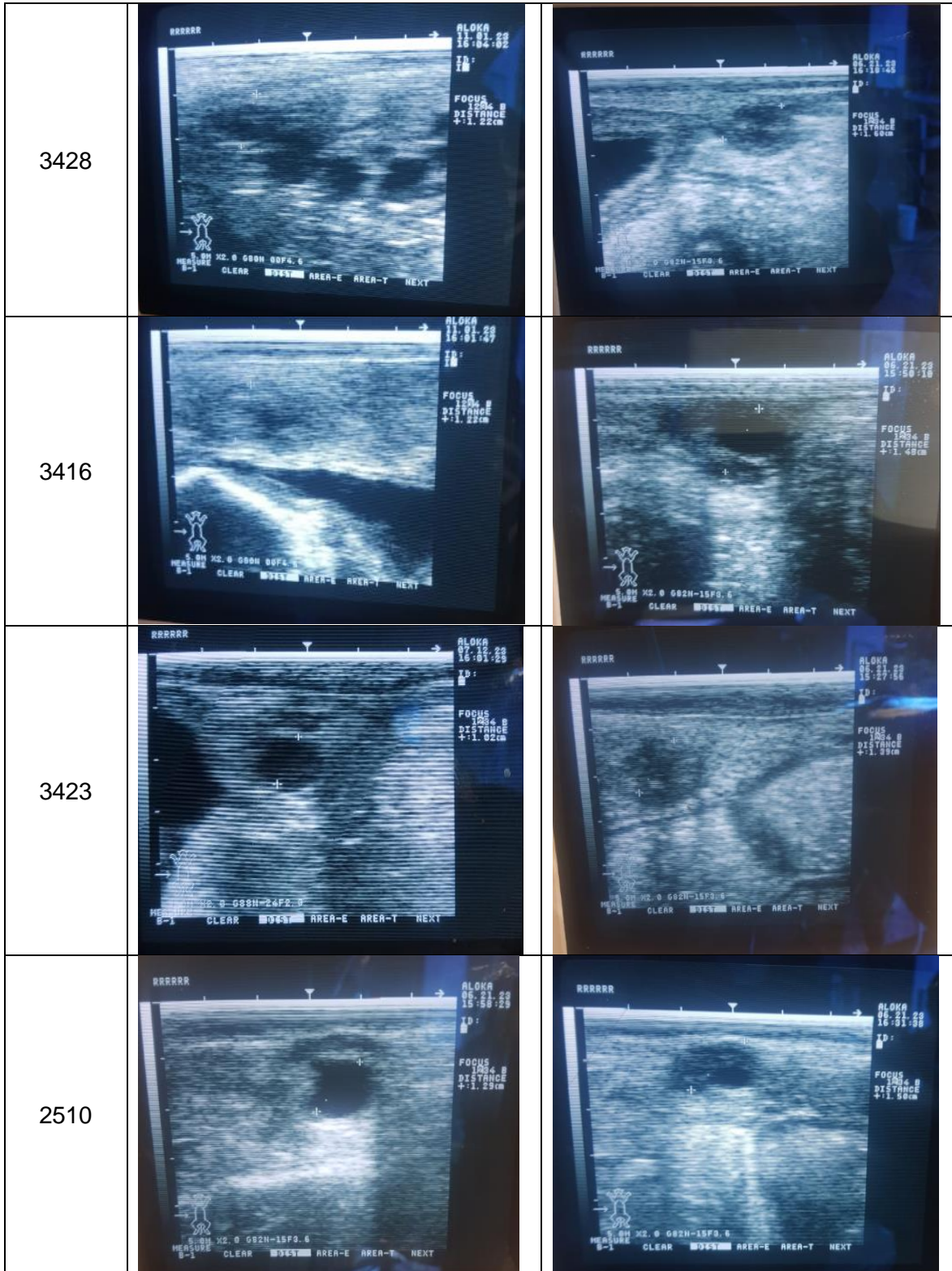


<p>3415</p>		
<p>3417</p>		
<p>3408</p>		

Tabla A3

Tratamiento 2

Número	Izquierdo	Derecho
<p>3425</p>		



Apéndice B. Gestaciones Confirmadas

