



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

EVALUACIÓN DE LA TASA DE PREÑEZ EN VACAS HOLSTEIN MESTIZAS
UTILIZANDO HCG (GONADOTROPINA CORIÓNICA HUMANA) INTRAVENOSA
AL MOMENTO DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL PROTOCOLO E2-P4-
PGF2ALFA

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Médico Veterinario

AUTOR: DARWIN STALIN CALLE SARMIENTO

TUTOR: DR. FROILÁN PATRICIO GARNICA MARQUINA

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Darwin Stalin Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0303014559, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Darwin Stalin Calle Sarmiento

0303014559

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Darwin Stalin Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0303014559, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluación de la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas utilizando hCG (gonadotropina coriónica humana) intravenosa al momento de la inseminación artificial en el protocolo E2-P4-PGF2alfa”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Médico Veterinario, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Darwin Stalin Calle Sarmiento

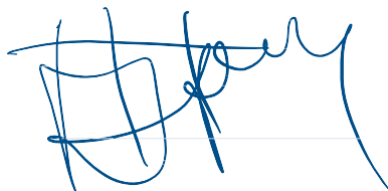
0303014559

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Froilán Patricio Garnica Marquina con documento de identificación N° 1103109003, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA TASA DE PREÑEZ EN VACAS HOLSTEIN MESTIZAS UTILIZANDO HCG (GONADOTROPINA CORIÓNICA HUMANA) INTRAVENOSA AL MOMENTO DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL PROTOCOLO E2-P4-PGF2ALFA, realizado por Darwin Stalin Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0303014559, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 22 de julio del 2025

Atentamente,



Dr. Froilán Patricio Garnica Marquina

1103109003

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y la vocación que me ha regalado. A mis señores padres; Luis Calle y Judith Sarmiento, por su apoyo incondicional y por ser el pilar de mi existencia. A mi hermano, Dr. Ricardo Calle, mi colega y mi inspiración en este camino.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profunda gratitud a las personas que hicieron posible la realización de este proyecto. Agradezco de corazón al Dr. Patricio Garnica, por la confianza que depositó en mí y por la dirección que dio a mi investigación. Su trayectoria y su visión me sirvieron de inspiración profesional y me motivaron a seguir mis pasos. A mis amigos y colegas de la facultad, por la motivación que me brindaron. Gracias por las risas, por los retos superados y por la fuerza que me dieron para seguir adelante. También un agradecimiento muy especial a Lilian por su amor, su paciencia infinita y su comprensión. Su apoyo incondicional fue mi mayor aliento en los momentos de mayor presión. Este logro también es tuyo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Problema	16
1.2. Delimitación.....	16
1.2.1. Espacial	16
1.2.2. Temporal	17
1.2.3. Académica.....	17
1.3. Explicación del problema.....	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Hipótesis	18
1.5.1. Hipótesis Nula.....	18
1.5.2. Hipótesis Alternativa.....	18
1.6. Fundamentación teórica	18
2. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICOS Y DOCUMENTAL.....	20
2.1. Bases fisiológicas de la reproducción bovina	20
2.1.1. Anatomía del aparato reproductor femenino	20
2.1.2. Dinámica folicular.....	21
2.1.3. Ciclo estral y sus fases	21

2.2.	Regulación hormonal de la reproducción.....	23
2.2.1.	Estrógenos.....	23
2.2.2.	Progesterona.....	24
2.2.3.	Prostaglandinas (PGF2alfa)	24
2.2.4.	Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH).....	24
2.2.5.	Gonadotropina coriónica humana (HCG)	25
2.2.6.	Vía de administración de HCG: consideraciones farmacológicas y reproductivas	25
2.3.	Protocolos hormonales de sincronización	26
2.3.1.	Protocolo E2-P4-PGF2alfa	26
2.3.2.	Adición de HCG al protocolo E2-P4-PGF2alfa.....	27
2.3.3.	Consideraciones fisiológicas y prácticas.....	27
2.4.	Técnicas de manejo reproductivo.....	27
2.4.1.	Inseminación artificial (IA).....	28
2.4.2.	Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).....	28
2.4.3.	Desafíos del manejo convencional y necesidad de protocolos sincronizados.....	28
2.4.4.	Ecografía aplicada a la reproducción	29
2.5.	Consideraciones económicas del uso de HCG.....	30
2.6.	Resumen del estado del arte del estudio del problema	31
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1.	Materiales.....	33

3.1.1.	Materiales físicos	33
3.1.2.	Materiales químicos	34
3.1.3.	Materiales biológicos	34
3.2.	Metodología	34
3.2.1.	Diseño estadístico.....	34
3.2.2.	Población y muestra	35
3.2.3.	Procedimiento de aplicación del protocolo de IATF	35
3.3.	Operacionalización de variables	36
3.3.1.	Variables dependientes	36
3.3.2.	Variables independientes.....	36
3.4.	Consideraciones éticas	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.1.	Análisis de datos	38
4.1.1.	Tasa de preñez por tratamiento	38
4.1.2.	Análisis del costo beneficio de la aplicación HCG sobre E2- P4- PGF2alfa42	
4.2.	Discusión.....	46
5.	CONCLUSIONES	48
6.	RECOMENDACIONES	49
7.	BIBLIOGRAFÍAS	50
8.	ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de oficina.....	33
Tabla 2. Materiales de campo	33
Tabla 3. Materiales químicos	34
Tabla 4. Materiales biológicos	34
Tabla 5. Variable dependiente.....	36
Tabla 6. Variable independiente.....	36
Tabla 7. Distribución de los datos transformados [$\sqrt{(x+0,5)}$], T0 y T1	41
Tabla 8. Análisis t Student	42
Tabla 9. Presupuesto del tratamiento T0.....	42
Tabla 10. Presupuesto del tratamiento T1.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la parroquia Ingapirca, cantón Cañar.....	17
Figura 2. Distribución porcentual de la tasa de preñez por tratamiento (n = 40).....	38
Figura 3. Distribución porcentual de la tasa de preñez T0 (n=20).....	39
Figura 4. Distribución porcentual de la tasa de preñez T1 (n=20).....	39
Figura 5. Distribución porcentual de la tasa de preñez por tratamiento, T0 & T1.....	40
Figura 6. Costo total por animal y por tratamiento	45

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ficha de campo.....	55
Fotografía 2. Inicio de protocolo	56
Fotografía 3. Retiro del dispositivo y aplicación de PGF2alfa y estrógenos	56
Fotografía 4. Inseminación artificial	56
Fotografía 5. Aplicación de HCG vía intravenosa	57
Fotografía 6. Chequeo ecográfico.....	57

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la parroquia Ingapirca del cantón y provincia del Cañar, con la finalidad de evaluar la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas, adicionando gonadotropina coriónica humana (HCG) vía intravenosa en un protocolo E2-P4-PGF2ALFA al momento de la inseminación artificial. Para la investigación se utilizó 40 vacas distribuidas en dos grupos de 20 unidades. T1(n=20) el protocolo de IATF sin la aplicación de HCG y para el T2(n=20) se realizó el protocolo de IATF con la adición de 1250 UI de HCG vía intravenosa al momento de la inseminación artificial. La preñez se comprobó mediante un examen ecográfico 45 días post inseminación. La tasa de preñez para el T1 fue del 55 % (11/20) y del T2 de 70 % (14/20). Los resultados fueron analizados estadísticamente con el diseño de T de Student pareado, lo cual demostró que no existe significancia entre los tratamientos, pero matemáticamente se comporta de manera diferente. Respecto al análisis de costo beneficio; el T1 y T2 tuvieron un costo total por animal de \$55,37. Pero el T2 al adicionar la hormona HCG tiene un valor extra de \$8,12 por animal.

Palabras claves: Ingapirca, Holstein, inseminación artificial, protocolo E2-P4-PGF2alfa,

HCG.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Ingapirca parish of the canton and province of Cañar, with the purpose of evaluating the pregnancy rate in crossbred Holstein cows, adding human chorionic gonadotropin (HCG) intravenously in an E2-P4-PGF2ALFA protocol at the time of artificial insemination. 40 cows were used, distributed in two groups of 20 units. For T1(n=20) the IATF protocol was performed without the application of HCG and for T2(n=20) the IATF protocol was performed with the addition of 1250 IU of HCG intravenously at the time of artificial insemination. Pregnancy was verified by ultrasound examination 45 days post insemination. The pregnancy rate for T1 was 55 % (11/20) and T2 was 70 % (14/20). The results were analyzed statistically with the paired Student's T design, which showed that there is no significance between treatments, but mathematically it behaves differently. Regarding the cost benefit analysis; T1 and T2 had a total cost per animal of \$55.37. But T2 with the addition of HCG hormone has an extra value of \$8.12 per animal.

Key words: Ingapirca, Holstein, artificial insemination, E2-P4-PGF2alpha protocol,

HCG.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances biotecnológicos reproductivos han permitido optimizar el proceso productivo y reproductivo en las explotaciones ganaderas, mediante el uso de técnicas como la inseminación artificial (IA) y la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Estas prácticas han promovido la implementación del mejoramiento genético en los hatos bovinos, incrementando así la eficiencia reproductiva y el rendimiento económico, lo que contribuye a mejorar la competitividad del sector agropecuario (Marizancén & Artunduagua, 2017).

La principal diferencia entre la IA y la IATF es la detección del estro: mientras que la IA convencional requiere la identificación precisa del celo, la IATF permite realizar la inseminación sin necesidad de observarlo, mediante la sincronización hormonal controlada. Esta sincronización se basa en la manipulación del ciclo estral, lo cual ha demostrado ser eficaz para mejorar las tasas de preñez en condiciones de campo.

Entre las estrategias utilizadas para inducir la ciclicidad posparto, la exposición a progesterona se considera un factor clave, debido a que su presencia es indispensable para reiniciar la actividad ovárica en vacas en anestro (Sheldon, 2006). En este contexto, la gonadotropina coriónica humana (HCG) ha demostrado tener un efecto luteotrópico potente, similar al de la hormona luteinizante (LH), prolongando la vida útil del cuerpo lúteo (CL) y estimulando la producción de progesterona. Su aplicación en la fase lútea temprana puede inducir la ovulación, favorecer la formación de CL accesorios y modificar la dinámica folicular, incrementando la frecuencia de ondas dominantes.

A diferencia de la GnRH, la HCG actúa directamente sobre las células ováricas, con una acción más sostenida y sin depender de la liberación hipotalámica endógena. Estas características hacen que su uso sea especialmente prometedor en vacas con baja respuesta a otros tratamientos. Diversos estudios respaldan la inclusión de HCG en

protocolos de sincronización del estro y ovulación, evidenciando mejoras en los parámetros reproductivos de vacas lecheras (Rensis, 2010).

1.1. Problema

En los sistemas de producción lechera, uno de los principales objetivos es alcanzar un ternero por vaca cada año, lo que implica lograr preñez al primer servicio en hembras posparto. Sin embargo, este rendimiento esperado suele verse afectado por distintos factores reproductivos que comprometen la eficiencia del hato.

Entre las principales causas que afectan la fertilidad en vacas posparto se incluyen alteraciones fisiológicas como el anestro, el subestro, la ovulación retardada y la muerte embrionaria precoz; así como factores adicionales, como la alta producción láctea, el balance energético negativo, el estrés térmico y la presencia de enfermedades reproductivas. Estas condiciones prolongan los intervalos entre partos y provocan pérdidas económicas significativas para el productor.

Frente a esta problemática, resulta indispensable identificar estrategias que permitan mejorar los índices reproductivos, especialmente en vacas posparto con baja expresión de celo o con condiciones fisiológicas desfavorables. En este contexto, surge la necesidad de evaluar nuevas herramientas hormonales que contribuyan a optimizar la fertilidad sin depender exclusivamente de la detección del estro.

1.2. Delimitación

1.2.1. Espacial

El estudio se realizó en la parroquia Ingapirca, perteneciente al cantón y provincia del Cañar, ubicada a una altitud de 3.105 m s.n.m., en las coordenadas geográficas 2°34'52" de latitud y 78°51'45" de longitud (Google Earth, 2025). Esta parroquia representa las condiciones adecuadas para la evaluación de la investigación, al tratarse de una zona representativa del sistema de producción lechera de altura.

Figura 1. Ubicación geográfica de la parroquia Ingapirca, cantón Cañar.



Fuente: (Google Earth, 2025)

1.2.2. Temporal

El desarrollo de este estudio abarcó un total de 400 horas.

1.2.3. Académica

Este estudio se desarrolla dentro de la Medicina Veterinaria, con énfasis en el área de reproducción animal. Vinculado con líneas de investigación que abordan el uso de biotecnologías reproductivas y su impacto en la eficiencia productiva como también prácticas de manejo ético que promuevan la sostenibilidad en los sistemas de producción animal.

1.3. Explicación del problema

La baja tasa de preñez en vacas posparto continúa siendo una limitante en la eficiencia reproductiva de los sistemas lecheros, especialmente en animales con escasa manifestación de celo y problemas de reinicio ovárico. Factores como el anestro, el balance energético negativo y la alta demanda fisiológica del posparto dificultan la concepción al primer servicio, lo que impacta directamente en la rentabilidad del hato.

A esto se agrega la dependencia de la detección del estro en programas reproductivos tradicionales. Por lo que se considera necesario evaluar el efecto de la HCG como adición hormonal en protocolos de sincronización.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas, aplicando HCG intravenosa al momento de la inseminación artificial, en el protocolo E2-P4-PGF2alfa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas aplicando HCG vía intravenosa al momento de la inseminación artificial, en el protocolo E2-P4-PGF2alfa.
- Analizar el costo beneficio de la aplicación HCG al momento de la inseminación artificial en el protocolo E2- P4-PGF2alfa en la tasa de preñez en vacas Holstein Mestizas.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis Nula

La aplicación de HCG vía intravenosa al momento de la inseminación en el protocolo E2-P4-PGF2alfa no mejora la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas

1.5.2. Hipótesis Alternativa

La aplicación de HCG vía intravenosa al momento de la inseminación en el protocolo E2-P4-PGF2alfa si mejora la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas.

1.6. Fundamentación teórica

Este estudio parte de la necesidad de identificar estrategias hormonales que permitan mejorar la tasa de preñez en vacas Holstein mestizas durante el posparto. La administración de HCG, debido a su efecto luteotrópico, puede incorporarse

adicionalmente a protocolos de sincronización como el E2-P4-PGF2alfa, ya que estimula la ovulación, favorece el desarrollo del cuerpo lúteo y aumenta la producción de progesterona.

Además, se busca valorar su aplicación desde una perspectiva económica, comparando su efectividad y viabilidad con respecto al protocolo convencional. Los resultados contribuirán al diseño de programas reproductivos más eficientes y accesibles para sistemas lecheros de pequeña y mediana escala.

2. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICOS Y DOCUMENTAL

2.1. Bases fisiológicas de la reproducción bovina

La reproducción en la hembra bovina se rige a partir de estructuras anatómicas y mecanismos endocrinos que dan paso a la ovulación, la concepción y el mantenimiento de la gestación. Comprender estos procesos resulta esencial para la aplicación adecuada de biotecnologías reproductivas como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

2.1.1. Anatomía del aparato reproductor femenino

El aparato reproductor de la hembra está conformado por órganos internos y externos que permiten la fecundación y la gestación.

2.1.1.1. Ovarios

Órganos pares encargados de la producción de ovocitos y de la síntesis de hormonas como los estrógenos y la progesterona. Los estrógenos son secretados por el folículo dominante en crecimiento y participan en la manifestación del celo, así como en la preparación del tracto genital (Trompas de Falopio, útero, vagina y vulva) para la ovulación.

La progesterona es producida por CL tras la ovulación, su función es la de preparar el endometrio para la implantación y el mantenimiento de la gestación. Los ovarios también producen inhibina, una hormona que interviene en la secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) y participa activamente en el control de la dinámica folicular (Sintex, 2005; Velastegui, 2012; Ocampo, 1997).

2.1.1.2. Útero

Órgano encargado de alojar y nutrir al embrión durante la gestación. Anatómicamente se divide en cuerpo y cuernos uterinos. Tiene participación en la regulación del ciclo estral mediante la producción de prostaglandina PGF₂alfa, responsable de la luteólisis de

CL al final del ciclo cuando no hay gestación. Además, el útero interviene en el proceso de ovulación y en los mecanismos del parto (Velasategui, 2012).

2.1.2. Dinámica folicular

Proceso continuo mediante el cual se desarrollan ondas foliculares a lo largo del ciclo estral. Cada onda está compuesta por tres fases: reclutamiento, selección y dominancia. En la fase de reclutamiento, los folículos inician su crecimiento bajo el estímulo de FSH. Uno de ellos es seleccionado como folículo dominante, gracias a su mayor capacidad de respuesta a la hormona luteinizante (LH), mientras que los restantes entran en atresia

En bovinos suelen presentarse dos o tres ondas foliculares por ciclo. El folículo dominante que sobrevive en la última onda es quien alcanza la ovulación si se presenta el pico de LH. Este proceso ocurre incluso durante la gestación, el posparto o en condiciones de anestro. (Shearer, 2003).

2.1.3. Ciclo estral y sus fases

La expresión del comportamiento de estro es el resultado de un incremento progresivo en los niveles de 17β -estradiol producido por un folículo dominante, el cual estimula a los demás signos concomitantes mediante el pico ovulatorio de LH. En el proceso del ciclo estral, se presenta una serie de cambios en la estructura ovárica y en la concentración de hormonas que interactúan, para que la hembra pueda estar ciclando. El ciclo estral está conformado por cuatro fases secuenciales (Guáqueta, H. 2009).

2.1.3.1. Proestro

La actividad ovárica durante el proestro es iniciada por la lisis de CL del ciclo estral anterior. En esta fase los niveles de progesterona son bajos y simultáneamente se lleva a cabo el crecimiento de un folículo preovulatorio. Pese a que muchos folículos antrales se pueden desarrollar durante este periodo, solo uno será seleccionado como folículo dominante (FD) y llegará a la ovulación. Este FD se diferencia de los demás folículos

(atrésicos) debido a que es influenciado por FSH y LH, incrementando así la síntesis y producción de estrógenos, que a su vez van llenando la cavidad antral y haciendo que aumente el diámetro folicular (Guáqueta, H. 2009).

2.1.3.2. Estro

Una producción continua de estrógenos a partir del folículo en desarrollo genera un pico en la liberación de LH y FSH a través de la glándula hipófisis, reflejando un aumento en la producción de estrógenos en el folículo. Por lo tanto, un nivel elevado de estrógenos influye en el comportamiento y manifestación del celo, aumentando las contracciones del tracto reproductor femenino para facilitar el encuentro entre el óvulo y el espermatozoide.

De la misma manera, los estrógenos estimulan la cantidad de fluidos que se producen en los oviductos, útero, cérvix y vagina. Durante el estro, las células de la granulosa producen y liberan inhibina, hormona encargada de bloquear la liberación de FSH desde la hipófisis (Guáqueta, H. 2009).

2.1.3.3. Metaestro

El periodo comprendido entre tres y cuatro días posteriores al celo se conoce como metaestro, y está regulado por una serie de eventos endocrinos que controlan la dinámica ovárica durante este tiempo. El pico de LH y FSH, que ocurre durante el estro, provoca la ruptura del folículo aproximadamente 30 horas después del inicio de la “monta estática” o entre 10 y 14 horas tras finalizar el estro, dando lugar a la ovulación.

Las células de la teca y de la granulosa responden a la acción de la LH sobre el folículo colapsado, iniciando así la formación del cuerpo amarillo o CL, encargado de producir progesterona. Esta hormona prepara al útero para la preñez e inhibe la aparición de un nuevo ciclo (Guáqueta, H. 2009).

2.1.3.4. Diestro

Es la fase más prolongada del ciclo estral y está regulada por la acción de la progesterona y la presencia de CL. La LH que desencadenó la ovulación también induce una serie de cambios en las células de la granulosa, lo que da lugar a la formación del CL, el cual alcanza su tamaño máximo entre los 8 y 10 días posteriores a la ovulación. A medida que el CL crece, los niveles de progesterona en sangre incrementan proporcionalmente, alcanzando su pico alrededor del día 10 y manteniéndose elevada hasta el día 16 o 18 del ciclo (Guáqueta, H. 2009).

2.2. Regulación hormonal de la reproducción

La regulación hormonal del ciclo estral en bovinos es importante durante la ovulación y el éxito reproductivo. En IATF, mediante combinaciones hormonales se controla el desarrollo folicular, la regresión de CL y la liberación del ovocito. A continuación, se describen las principales hormonas empleadas en estos esquemas.

2.2.1. Estrógenos

Hormonas esteroideas sintetizadas en los folículos ováricos en desarrollo. En las vacas, el principal representante es el 17β -estradiol, quien induce la manifestación del celo, estimula la liberación de LH y es responsable de dar paso a la ovulación. Estas hormonas también preparan el tracto reproductor para la fecundación, incrementando la motilidad uterina, la producción de moco cervical y el nivel de recepción del endometrio (Sumano y Ocampo, 1997).

En los protocolos de sincronización del estro, se utilizan formulaciones sintéticas como el benzoato de estradiol (BE), el cipionato de estradiol (ECP) o el valerato de estradiol (VE). Estas se aplican al inicio y al final del tratamiento para inducir la atresia folicular, reiniciar una nueva onda de crecimiento y sincronizar la ovulación posterior al retiro del dispositivo de progesterona (Añez, 2001; Marquina, 2016).

2.2.2. Progesterona

La progesterona es secretada por el CL luego de la ovulación, su función es la de preparar al útero para la implantación y mantener la gestación. Durante el ciclo estral, esta hormona inhibe la secreción de FSH y LH, bloqueando así la presentación de celo y evitando nuevas ovulaciones (Sumano y Ocampo, 1997).

En protocolos de IATF, se utilizan dispositivos intravaginales impregnados con progesterona o progestágenos sintéticos (Sincrogest), que simulan la fase lútea. Al retirar estos dispositivos, se produce un descenso abrupto de los niveles de progesterona, permitiendo el reinicio de la dinámica folicular y la sincronización de la ovulación (Añez, 2014).

2.2.3. Prostaglandinas (PGF2alfa)

La prostaglandina F2alfa es producida de forma natural por el endometrio al final del ciclo estral, su función principal es inducir la luteólisis, es decir, la regresión del cuerpo lúteo, lo que permite reiniciar el ciclo reproductivo.

En los programas hormonales, la PGF2alfa o sus análogos sintéticos (como la cloprostenol) se aplican de forma exógena para asegurar la regresión del cuerpo lúteo funcional y garantizar niveles bajos de progesterona al momento de la ovulación inducida (Sheldon, 2006).

2.2.4. Hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH)

La GnRH es una neurohormona secretada por el hipotálamo que estimula la liberación de LH y FSH desde la hipófisis anterior. En protocolos reproductivos, la aplicación exógena de GnRH se utiliza para inducir la ovulación del folículo dominante, especialmente cuando se busca controlar el momento exacto de la ovulación (Vélez et al., 2016).

Los análogos sintéticos de GnRH pueden tener una mayor afinidad por su receptor y se emplean en combinaciones con progesterona y prostaglandinas. Sin embargo, su efectividad puede verse reducida en vacas con baja respuesta hipotalámica, como ocurre durante el posparto (Garverick et al., 2005).

2.2.5. Gonadotropina coriónica humana (HCG)

La HCG es una hormona glicoproteica de origen exógeno que presenta una acción similar a la LH en el bovino. Su aplicación induce la ovulación del folículo dominante, estimula la formación de CL y potencia la secreción de progesterona, prolongando así la fase lútea y mejorando las condiciones para el establecimiento de la gestación (Rensis, 2010; Dogi, 2005).

A diferencia de la GnRH, la HCG actúa directamente sobre los receptores de LH en las células ováricas, sin depender de la hipófisis, y presenta una duración de acción más prolongada. Esta propiedad la hace especialmente útil en vacas subfértiles o en animales con baja manifestación de celo (Dogi, 2005).

En el presente estudio, la HCG fue aplicada como complemento al protocolo E2-P4-PGF2alfa al momento de la inseminación artificial, con el objetivo de mejorar la tasa de preñez.

2.2.6. Vía de administración de HCG: consideraciones farmacológicas y reproductivas

La gonadotropina coriónica humana (HCG) se aplica generalmente por vía intramuscular (IM) en protocolos reproductivos bovinos, sin embargo, la vía intravenosa (IV) ha cobrado relevancia por su efecto más rápido y directo en la inducción de la ovulación, especialmente cuando se sincroniza con la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) (Rajamahendran & Sianangama, 1992; Beachler, 2021).

Farmacocinética comparada

Vía intramuscular (IM): La inyección intramuscular produce una absorción más lenta, generando una liberación prolongada de la hormona en el organismo. Esta característica favorece una acción sostenida sobre el cuerpo lúteo, aumentando los niveles de progesterona, pero con una mayor variabilidad individual en el tiempo de absorción y respuesta.

Vía intravenosa (IV): La aplicación IV permite alcanzar concentraciones plasmáticas máximas rápidamente, generando un estímulo intenso que coincide estrechamente con la ovulación inducida, aunque su vida media sea más corta comparada con la vía IM (Beachler, 2021). Este efecto inmediato mejora la sincronía entre la ovulación y el momento de la IA, especialmente en vacas con baja actividad ovárica (Rajamahendran & Sianangama, 1992).

En conclusión, mientras la vía IM resulta más conveniente para protocolos que buscan sostener altos niveles de progesterona en el tiempo, la vía IV es preferible cuando se busca un estímulo ovulatorio inmediato que coincida con la inseminación artificial.

2.3. Protocolos hormonales de sincronización

La IATF requiere de protocolos hormonales que permitan controlar con precisión el ciclo estral y la ovulación. Dichos esquemas buscan sincronizar la dinámica folicular y preparar al tracto reproductor para la inseminación, sin necesidad de detectar el celo. El protocolo E2-P4-PGF2alfa es uno de los más utilizados en bovinos debido a su eficacia reproductiva y flexibilidad operativa.

2.3.1. Protocolo E2-P4-PGF2alfa

Este protocolo combina el uso de estrógenos, progesterona y prostaglandinas para simular y controlar el ciclo estral. Inicia con la colocación de un dispositivo intravaginal liberador de progesterona (P4), en conjunto de una dosis de benzoato de estradiol (BE), que induce la regresión folicular y favorece el reinicio de una nueva onda.

Ocho días después, se retira el dispositivo y se administra una dosis de PGF2alfa para inducir la luteólisis. A esto se adiciona una nueva aplicación de un estrógeno, como cipionato de estradiol, que estimula el pico de LH y sincroniza la ovulación. Finalmente, se realiza la inseminación artificial 48 horas después del retiro del dispositivo (Añez, 2001; Marquina, 2016).

Este protocolo permite obtener tasas de sincronización ovárica elevadas y es aplicable tanto en vacas cíclicas como en animales con actividad ovárica reducida.

2.3.2. Adición de HCG al protocolo E2-P4-PGF2alfa

La incorporación de HCG al momento de la inseminación se fundamenta en su efecto luteotrópico, que estimula la ovulación del folículo dominante y favorece la formación de cuerpos lúteos accesorios. Esta estrategia busca mejorar la secreción de progesterona post-inseminación, lo que puede aumentar la tasa de concepción y reducir la mortalidad embrionaria temprana (Rensis, 2010; Rajamahendran y Sianangama, 1992).

2.3.3. Consideraciones fisiológicas y prácticas

El uso de protocolos combinados como E2-P4-PGF2alfa permite reproducir las condiciones endocrinas necesarias para una ovulación sincronizada. La adición de HCG puede potenciar el desarrollo del cuerpo lúteo funcional y optimizar las condiciones uterinas para la gestación. Sin embargo, su eficacia puede depender del momento exacto de aplicación, la condición corporal del animal y la actividad ovárica previa.

Si bien la mayoría de protocolos se basan en combinaciones con GnRH, el uso de HCG ha sido propuesto como una alternativa prometedora, especialmente en vacas con baja expresión de celo o en hatos donde se busca reducir la variabilidad en la respuesta ovulatoria.

2.4. Técnicas de manejo reproductivo

El éxito de los programas de reproducción asistida en bovinos depende tanto del manejo hormonal como de la aplicación precisa de las técnicas de inseminación.

2.4.1. Inseminación artificial (IA)

La inseminación artificial tradicional consiste en identificar el momento exacto del estro para realizar la inseminación. Si bien permite aplicar genética de alto valor, su efectividad está condicionada por la correcta detección de celo. En vacas lecheras, esta detección puede verse limitada por la alta producción de leche, el estrés térmico, el anestro posparto o el manejo deficiente, lo que incrementa el porcentaje de servicios fallidos y reduce la eficiencia reproductiva del hato (Hernández et al., 1994; Hunter, 1985).

2.4.2. Inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)

La IATF surge como una alternativa que elimina la dependencia de detectar el celo, mediante la sincronización hormonal del ciclo estral. Esto permite programar la inseminación en un momento específico, optimizando el uso de recursos y mejorando las tasas de concepción. Diversos estudios han demostrado que los protocolos basados en la combinación de progesterona, estrógenos y prostaglandinas logran sincronizar la ovulación con alta precisión, incluso en animales en anestro funcional (Marizancén, 2017).

Este enfoque facilita la planificación del manejo reproductivo, reduce los intervalos entre partos y aumenta la cantidad de vacas preñadas por ciclo, lo que mejora la eficiencia global del sistema productivo.

2.4.3. Desafíos del manejo convencional y necesidad de protocolos sincronizados

En condiciones de campo, la baja detección de celo sigue siendo una de las principales limitantes reproductivas. La expresión del estro puede pasar desapercibida o ser confundida con comportamientos no sexuales, aumentando así, los errores en la

programación de la IA. Esta situación es especialmente frecuente en vacas repetidoras o con historial de fracasos reproductivos.

Frente a estos desafíos, la implementación de protocolos hormonales como el E2-P4-PGF2alfa con la adición de HCG representa una estrategia prometedora para mejorar la respuesta ovárica y aumentar la tasa de preñez sin depender del comportamiento estral. Lo cual es valioso en sistemas de producción con limitaciones operativas o sin capacidad para realizar monitoreos frecuentes.

2.4.4. Ecografía aplicada a la reproducción

La ecografía transrectal ha transformado la gestión reproductiva en bovinos, ya que permite la evaluación en tiempo real del aparato reproductor femenino, la detección temprana de patologías, y el diagnóstico preciso de gestación (Romano et al., 2006; De Silva et al., 2024).

Principios técnicos

El ultrasonido modo B (brightness) utiliza ondas acústicas de alta frecuencia para generar imágenes en escala de grises. La modalidad Doppler color o power permite evaluar el flujo sanguíneo en estructuras reproductivas como el cuerpo lúteo, siendo útil para medir su funcionalidad

Aplicaciones reproductivas

Monitoreo folicular y luteal: Mediante ecografía es posible observar el desarrollo de ondas foliculares, identificar el folículo dominante y valorar el cuerpo lúteo. La ecogenicidad, el tamaño y el flujo luteal se correlacionan directamente con los niveles de progesterona en sangre, lo que ayuda a predecir la fertilidad (Romano et al., 2006).

Diagnóstico de preñez:

Modo B: permite identificar la vesícula embrionaria a partir del día 26–28 post-IA, con alta sensibilidad y especificidad (Romano et al., 2006).

Doppler color: la detección del flujo sanguíneo en el cuerpo lúteo permite predecir la gestación desde el día 20 post-IA, anticipando el diagnóstico clásico y reduciendo los días abiertos (De Silva et al., 2024).

Importancia en protocolos hormonales

- Confirma la ovulación inducida por la HCG y la formación de cuerpos lúteos accesorios.
- Realiza un diagnóstico de preñez temprano y confiable.
- Identifica vacas no gestantes para reintroducir en nuevos ciclos hormonales sin retrasos innecesarios.

En resumen, la ecografía es una herramienta indispensable en la reproducción moderna, y su incorporación mejora la toma de decisiones en protocolos de IATF, especialmente en hatos donde la eficiencia reproductiva es crítica para la rentabilidad.

2.5. Consideraciones económicas del uso de HCG

En los sistemas de producción bovina, especialmente aquellos de pequeña y mediana escala, la eficiencia reproductiva no solo tiene implicaciones biológicas, sino también económicas. La reducción de los intervalos entre partos, el aumento de la tasa de preñez al primer servicio y la mejora en la fertilidad del hato repercuten directamente en la rentabilidad de la unidad productiva. Por ello, la evaluación de protocolos hormonales debe considerar tanto su eficacia clínica como su viabilidad económica (De Vries, 2006).

La hormona gonadotropina coriónica humana (HCG), utilizada como complemento al momento de la inseminación artificial, representa una inversión adicional dentro del protocolo E2-P4-PGF2alfa. Sin embargo, su aplicación podría generar beneficios que compensen su costo, como una mayor probabilidad de concepción, reducción de servicios por concepción y disminución de los días abiertos (Santos & Carvalho, 2024).

Diversos estudios han señalado que la HCG, al inducir la formación de cuerpos lúteos accesorios y elevar los niveles de progesterona, puede contribuir a una mayor tasa de retención embrionaria, lo cual reduce la necesidad de repeticiones del protocolo y, por tanto, los costos operativos por vaca (Rajamahendran & Sianangama, 1992; Rensis, 2010).

La presente investigación contempla no solo la evaluación de la tasa de preñez obtenida con la aplicación de HCG, sino también un análisis costo-beneficio que permita determinar si esta estrategia es justificable económicamente en condiciones de campo. Este aporte facilitará la toma de decisiones de veterinarios y productores respecto a la implementación de protocolos hormonales en sus sistemas productivos.

2.6. Resumen del estado del arte del estudio del problema

Las investigaciones sobre cómo mejorar la fertilidad en vacas lecheras, sobre todo en los últimos veinte años, se han centrado en tres objetivos: ajustar protocolos de sincronización del celo y la ovulación, comparar inductores de ovulación, principalmente GnRH y HCG y comprobar tanto la utilidad práctica como el costo de dichas hormonas en campo.

Los primeros trabajos con GnRH, como el esquema Ovsynch, mostraron que provocar un pico preovulatorio de LH eleva las tasas de concepción; sin embargo, la respuesta es irregular en vacas posparto con poca actividad ovárica (Garverick et al., 2005). Para reducir esa variabilidad, varios autores ensayaron la HCG, que actúa de forma más directa sobre el folículo dominante, aumenta la progesterona y favorece la formación de CL (Rajamahendran & Sianangama, 1992; de Rensis & López-Gatius, 2010).

Entre los protocolos de inseminación a tiempo fijo, el esquema E2-P4-PGF2alfa se considera uno de los más fiables y arroja, en hatos bien manejados, tasas de preñez de 45 a 55 % (Añez, 2001; Marquina, 2016).

Desde el punto de vista productivo, trabajos realizados en ambientes tropicales sugieren que la inseminación a tiempo fijo, con o sin adición de HCG puede resultar más rentable que la IA basada en detección de celo, porque reduce servicios (Baruselli et al., 2023). Sin embargo, faltan datos locales que midan el beneficio real de añadir HCG en rodeos de pequeña y mediana escala de la sierra ecuatoriana.

En resumen, la literatura confirma que la HCG mejora la calidad de la fase lútea y por ende la fertilidad. El presente trabajo busca aportar evidencia para cubrir esos vacíos y ofrecer recomendaciones prácticas a veterinarios y productores de la región.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Materiales físicos

Tabla 1. *Materiales de oficina*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Computadora	Unidad	1
Esfero	Unidad	3
Hojas de papel Bond A4	Resma	1
Impresora	Unidad	1
Tijera	Unidad	1
Cuaderno	Unidad	1

Tabla 2. *Materiales de campo*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Guantes de examinación	Caja	1
Guantes obstétricos	Caja	1
Pistola de inseminación	Unidad	1
Catéter de pistola inseminación	Caja	50
Corta pajuelas	Unidad	1
Servilletas	Rollo	1
Camisa sanitaria	Unidad	1
Aplicador de dispositivo	Unidad	1
Termo Criogénico	Unidad	1
Nitrógeno liquido	Kilos	1
Catéteres	Unidad	1

Pistola Universal	Unidad	1
Jeringas 3 ml	Unidad	1
Ecógrafo	Unidad	1

3.1.2. Materiales químicos

Tabla 3. *Materiales químicos*

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
HCG	Frasco	10
Dispositivos P4	Paquete	4
Benzoato de estradiol	Frasco	2
Cipionato de estradiol	Frasco	2
PGF2ALFA	Frasco	2

3.1.3. Materiales biológicos

Tabla 4. *Materiales biológicos*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Bovinos	Unidad	40
Pajuelas	Unidad	40

3.2. Metodología

La investigación que se llevó a cabo fue un trabajo experimental de tipo inductivo esto significa que a partir de un método científico en el que partimos de observar y experimentar con hechos concretos, podemos llegar a conclusiones generales.

3.2.1. Diseño estadístico

En el presente estudio se empleó el modelo estadístico de t de Student pareado con igual número de repeticiones, sometidos a dos tratamientos distintos:

- T1: E2-P4-PGF2alfa (n=20).
- T2: E2-P4-PGF2alfa + 1250 UI de HCG intravenosa al momento de la inseminación artificial (n=20).

Adicionalmente, se realizó un análisis complementario para comparar el costo-beneficio entre ambos tratamientos.

3.2.2. Población y muestra

La investigación se efectuó con 40 vacas Holstein mestizas, asignadas aleatoriamente a dos grupos de 20 animales. Se incluyeron únicamente hembras con condición corporal de 2,5-4 (escala 1-5) y con edad entre 2 y 8 años.

3.2.3. Procedimiento de aplicación del protocolo de IATF

Una vez establecidas las unidades experimentales, se procedió a aplicar el protocolo de sincronización de celo y ovulación E2-P4-PGF2alfa. En el día 0 se administraron 2mg de benzoato de estradiol vía intramuscular, junto con la colocación de un dispositivo intravaginal liberador de progesterona. Al octavo día se retiró el dispositivo y se aplicaron 150µg de cloprostenol vía intramuscular y 0,5mg de cipionato de estradiol. Transcurridas las 54 horas de la aplicación de la PGF2ALFA, se realizó la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) utilizando semen congelado de toros de raza Holstein. La única diferencia entre tratamientos fue que en el grupo T2, se aplicaron 1250 UI de HCG por vía intravenosa al momento de la inseminación, mientras que el grupo T1 se llevó a cabo el protocolo sin ninguna adición.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variables dependientes

Tabla 5. *Variable dependiente*

CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE
Tasa de preñez posterior al tratamiento con HCG al momento de la inseminación en el protocolo de IATF	Biológica	Concepción	Ausencia/presencia

3.3.2. Variables independientes

Tabla 6. *Variable independiente*

CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE
Aplicación de la hormona HCG al momento de la inseminación en el protocolo de IATF	Química	Dosis	mg

3.4. Consideraciones éticas

Todos los procedimientos realizados como, la aplicación de hormonas e inseminación artificial, se clasifican como prácticas habituales de manejo reproductivo que, al ejecutarse correctamente, no causan dolor ni sufrimiento en los animales. El estudio respetó los criterios de bienestar recogidos en el Código Sanitario de la OIE (OIE, 2023)

y en la normativa nacional sobre producción pecuaria (MAG, 2019). Durante todo el proceso se evitó la inmovilización prolongada, y se manipuló a las vacas exclusivamente por personal veterinario capacitado, minimizando cualquier fuente de estrés.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de datos

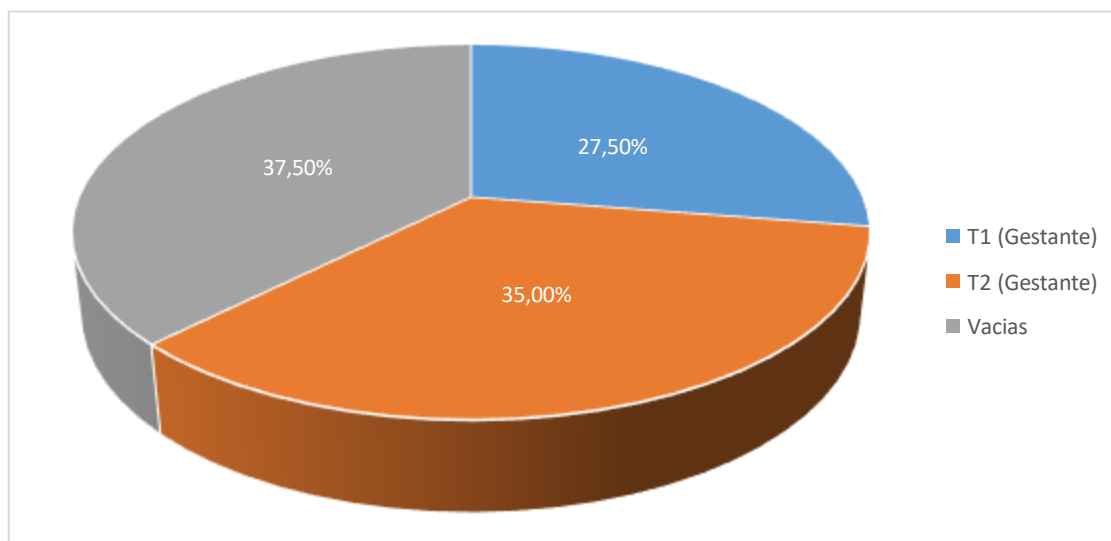
4.1.1. Tasa de preñez por tratamiento

Posterior al diagnóstico mediante ecografía, se determinó la tasa de preñez total de las 40 unidades experimentales, la cual fue del 62,5% (25/40). Esta cifra se distribuyó entre los dos tratamientos evaluados, con 20 vacas por grupo:

- T1: protocolo E2-P4-PGF2 α , con una tasa de preñez del 55% (11/20).
- T2: protocolo E2-P4-PGF2 α + 1250 UI de HCG intravenosa, con una tasa de preñez del 70% (14/20).

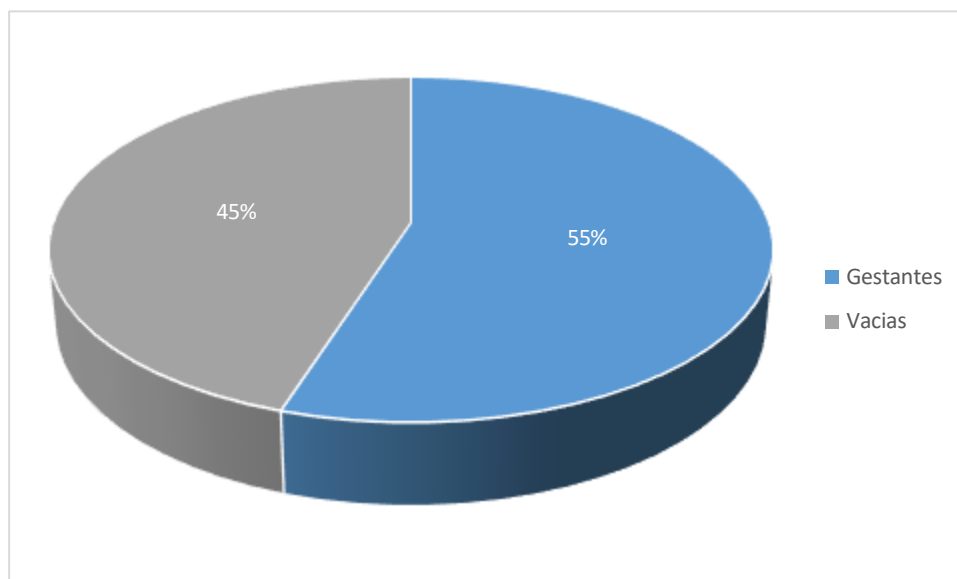
Lo que representa una diferencia de 15 puntos porcentuales a favor del tratamiento T2 en comparación con el tratamiento T1.

Figura 2. Distribución porcentual de la tasa de preñez por tratamiento (n = 40)



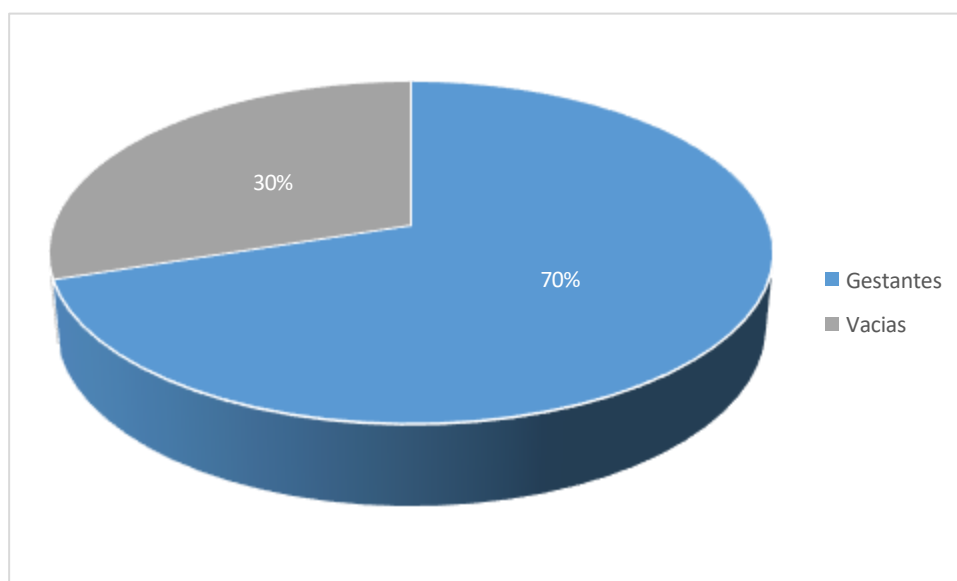
La Figura 2 muestra que, del 100 % de las muestras analizadas (n = 40), el 35 % (14/40) de las vacas gestantes pertenecen al tratamiento T2, mientras que el tratamiento T1 presenta una proporción menor, con 27,5 % (11/40). El 37,5 % restante (15/40) corresponde a animales que no quedaron gestantes.

Figura 3. Distribución porcentual de la tasa de preñez T1 (n=20)



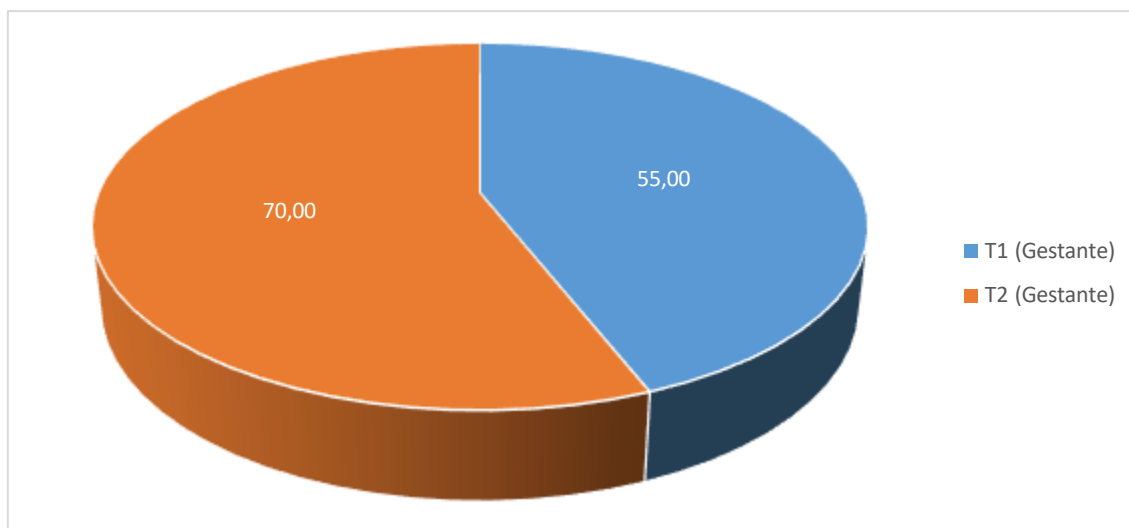
La Figura 3 muestra que, para el tratamiento T1, del 100 % de las muestras analizadas (n = 20), el 55 % (11/20) de las vacas resultaron gestantes, mientras que el 45 % (9/20) no quedaron preñadas.

Figura 4. Distribución porcentual de la tasa de preñez T2 (n=20)



La Figura 4 muestra que, para el tratamiento T2, del 100 % de las muestras analizadas (n = 20), el 70 % (14/20) de las vacas resultaron gestantes, mientras que el 30 % (6/20) no quedaron preñadas.

Figura 5. Distribución porcentual de la tasa de preñez por tratamiento, T1 & T2



En la Figura 5 se evidencia una diferencia de 15 puntos porcentuales a favor del tratamiento T2 respecto al tratamiento T1. Sin embargo, al analizar el número absoluto de vacas gestantes, esta diferencia no resulta tan marcada, ya que el tratamiento T2 registró 14 vacas gestantes, apenas tres más que el tratamiento T1, que alcanzó 11 gestaciones.

Tras la comparación gráfica de los resultados obtenidos entre ambos tratamientos en cuanto al número y porcentaje de vacas gestantes, se procedió a realizar un análisis estadístico mediante la prueba t de Student para muestras pareadas, con el fin de determinar si la diferencia observada entre las tasas de preñez del tratamiento T1 y T2 es estadísticamente significativa.

En la tabla 7 se muestra el análisis aplicado sobre las muestras obtenidas en esta investigación, estos datos fueron transformados mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\sqrt{x + 0,5}$$

Tabla 7. Distribución de los datos transformados $[\sqrt{(x+0,5)}]$, T1 y T2

REPETICIONES	TRATAMIENTOS				VALORES TRANSFORMADOS	
	TRATAMIENTO	VALOR	TRATAMIENTO	VALOR	T0	T1
	1	NUMERICO	2	NUMERICO		
1	VACIA	0	GESTANTE	1	0,71	1,22
2	VACIA	0	VACIA	0	0,71	0,71
3	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
4	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
5	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
6	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
7	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
8	VACIA	0	VACIA	0	0,71	0,71
9	VACIA	0	GESTANTE	1	0,71	1,22
10	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
11	GESTANTE	1	VACIA	0	1,22	0,71
12	VACIA	0	VACIA	0	0,71	0,71
13	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
14	VACIA	0	GESTANTE	1	0,71	1,22
15	VACIA	0	GESTANTE	1	0,71	1,22
16	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
17	VACIA	0	VACIA	0	0,71	0,71
18	VACIA	0	GESTANTE	1	0,71	1,22
19	GESTANTE	1	VACIA	0	1,22	0,71
20	GESTANTE	1	GESTANTE	1	1,22	1,22
Gestante		11		14		
Vacía		9		6		

Tabla 8. *Análisis t Student*

t. calcular	Significancia	t. tabular	
-0,970	NS	5%	1%
		2.024	2.704

Mediante el análisis estadístico realizado en Microsoft Excel (2024), se determinó que la diferencia en la tasa de preñez entre los dos tratamientos no fue estadísticamente significativa, ya que el valor de F calculado (-0,970) resultó menor que el valor de F tabular al 5 % y 1 % de significancia. Esto indica que la inclusión de HCG al protocolo E2-P4-PGF2alfa no produjo un efecto estadísticamente comprobable sobre la tasa de concepción. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Por su parte, el coeficiente de variación obtenido (0,25 %) refleja una dispersión mínima de los datos, lo cual sugiere confiabilidad en las mediciones realizadas durante el ensayo.

4.1.2. Análisis del costo beneficio de la aplicación HCG sobre E2- P4-PGF2alfa

Tabla 9. *Presupuesto del tratamiento T1*

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	USD	USD
			VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Termo Criogénico	Unidad	1	12,5	12,5
Nitrógeno liquido	Kilos	1	2,5	2,5
Catéteres	Unidad	1	0,15	0,15
Pistola Universal	Unidad	1	1,25	1,25
Pajuelas	Unidad	1	12	12
Jeringas 3 ml	Unidad	1	0,15	0,15

Aplicador de dispositivo	Unidad	1	0,32	0,32
Guantes de Examinación	Caja	1	0,15	0,15
Guantes Obstétricos	Caja	1	0,4	0,4
Camisa sanitaria	Unidad	1	0,07	0,07
Sincrogest (Dispositivos 1 g de pregesterona)	Unidad	1	10	10
Sincrodiol (2mg /animal)	ML	2ml	0,44	0,88
Cipiosyn (1mg /animal)	ML	2ml	0,32	0,65
Sincrocio (150 µg /animal de cloprostenol)	ML	2ml	1,8	3,6
Ecografía	Chequeo	1	5	5
Transporte	Unidad	10	1,25	1,25
Alimentación	Unidad	10	0,75	0,75
Servicio Técnico	Horas	15	3,75	3,75
COSTO TOTAL T1				\$55,37

Tabla 10. *Presupuesto del tratamiento T2*

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	USD	USD
			VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Termo Criogénico	Unidad	1	12,5	12,5
Nitrógeno liquido	Kilos	1	2,5	2,5
Catéteres	Unidad	1	0,15	0,15
Pistola Universal	Unidad	1	1,25	1,25
Pajuelas	Unidad	1	12	12

Jeringas 3 ml	Unidad	1	0,15	0,15
Aplicador de dispositivo	Unidad	1	0,32	0,32
Guantes de Examinación	Caja	1	0,15	0,15
Guantes Obstétricos	Caja	1	0,4	0,4
Camisa sanitaria	Unidad	1	0,07	0,07
Fertivet (HCG. 1,250 UI /animal)	ML	2,5 ml	8,12	8,12
Sincrogest (Dispositivos 1 g de pregesterona)	Unidad	1	10	10
Sincrodiol (2mg /animal)	ML	2ml	0,44	0,88
Cipiosyn (1mg /animal)	ML	2ml	0,32	0,65
Sincrocio (150 µg /animal de cloprostenol)	ML	2ml	1,8	3,6
Ecografía	Chequeo	1	5	5
Transporte	Unidad	10	1,25	1,25
Alimentación	Unidad	10	0,75	0,75
Servicio Técnico	Horas	15	3,75	3,75
COSTO TOTAL T2				\$63,49

En la figura 6 se muestra la diferencia de precios entre el tratamiento T1 (\$55,37) y T2 (\$63,49).

Figura 6. Costo total por animal y por tratamiento



En las Tablas 7 y 8 se desglosa detalladamente el presupuesto invertido por cada tratamiento. El costo total para el tratamiento T1 fue de 55,37 USD, mientras que para el tratamiento T2 ascendió a 63,49 USD, representando una diferencia de 8,12 USD adicionales en T2 debido a la inclusión de la HCG. Al incorporar el factor económico en la comparativa, se observa que, aunque la adición de HCG implicó una mayor inversión, esta se tradujo en una tasa de preñez del 70 % en T2, frente al 55 % en T1, lo que representa 15 puntos porcentuales de diferencia.

Sin embargo, tal como se muestra en la Figura 5, al analizar estos porcentajes en términos absolutos, la diferencia corresponde únicamente a tres vacas gestantes adicionales (T2 = 14, T1 = 11). Por tanto, aunque se evidenció una tendencia favorable hacia el tratamiento con HCG, los resultados no son concluyentes. Para determinar si esta diferencia representa un beneficio económico y reproductivo significativo, sería necesario ampliar el tamaño muestral, lo que permitiría una mayor potencia estadística y una mejor interpretación del costo-beneficio real de la hormona en condiciones de campo.

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran una diferencia numérica favorable al tratamiento T2, en el cual se adicionó HCG al protocolo E2-P4-PGF2alfa. La tasa de preñez fue del 70 % en este grupo, frente al 55 % en el tratamiento T1, equivalente a 15 puntos porcentuales de diferencia. Sin embargo, la prueba t de Student para muestras pareadas no reveló diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), lo cual impide atribuir con certeza dicho incremento a la aplicación de la hormona.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por De Rensis (2010) y Rajamahendran y Sianangama (1992), quienes destacan que la HCG puede inducir ovulación y estimular la formación de cuerpos lúteos accesorios, aunque su eficacia varía según el momento de aplicación, el estado fisiológico del animal y el entorno productivo. En complemento, otros estudios como el de Santos & Carvalho (2024) en vacas lactantes, también evidencian que la eficacia de HCG depende principalmente del momento de la aplicación y de la condición fisiológica del animal, siendo más efectiva entre los días 5 y 7 post inseminación.

Desde el punto de vista económico, el presente estudio identificó un incremento de 8,12 USD por vaca en el tratamiento T2 debido al uso de HCG, lo cual elevó el costo por preñez sin llegar a ser un beneficio proporcional claro. Este hallazgo coincide con la evaluación económica realizada por De Vries (2006), quien subraya que el valor real de una intervención reproductiva debe medirse en función del costo por concepción, no solo por la tasa de preñez.

En este contexto, si bien la hipótesis alternativa (que la HCG mejora la tasa de preñez) no pudo ser confirmada estadísticamente, los resultados sugieren un potencial efecto positivo moderado, que justifica la realización de estudios adicionales con mayor tamaño

muestral, distintas ventanas de aplicación y evaluaciones hormonales complementarias como la medición de progesterona sérica o la observación ecográfica del cuerpo lúteo.

En resumen, la inclusión de HCG al momento de la IATF podría representar una herramienta útil en contextos reproductivos desfavorables, pero no sustituye la necesidad de ajustar los protocolos a las condiciones fisiológicas y económicas locales, especialmente en sistemas productivos de altura como los de la sierra ecuatoriana.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

- Se determinó que la aplicación de 1250 UI de HCG vía intravenosa en el protocolo E2-P4-PGF2ALFA incrementó la tasa de preñez de un 55 % (grupo sin HCG) a un 70 % (grupo con HCG) en la población estudiada.
- A pesar de que el análisis estadístico mediante la prueba T de Student pareada no demostró una diferencia significativa entre los tratamientos, se evidenció un comportamiento matemáticamente distinto y una mejora numérica del 15 % en la tasa de preñez al adicionar HCG.
- Desde la perspectiva de costo-beneficio, la inclusión de HCG generó un costo adicional de \$8.12 por animal. Este valor debe ser considerado por los productores en función del incremento numérico observado en la tasa de preñez, evaluando su rentabilidad potencial para optimizar la eficiencia reproductiva del rebaño, incluso en ausencia de significancia estadística.

5.2 Recomendaciones

- Comparar la aplicación de HCG frente a su administración en el día 5-7 pos-IA, momento en el que varios autores han reportado mayor formación de cuerpos lúteos accesorios y mejores tasas de retención embrionaria.
- Considerar la eficiencia económica antes de aplicar tratamientos hormonales adicionales, como el uso de HCG, ya que en esta investigación no se evidenció una mejora significativa en la tasa de preñez que justifique el aumento en los costos por animal.
- Evaluar la aplicación de HCG en vacas con anestro o baja actividad ovárica comprobada, donde su efecto podría ser más relevante, en lugar de utilizarla de forma generalizada.
- Priorizar un adecuado manejo nutricional y reproductivo como base para mejorar las tasas de preñez, antes de recurrir al uso de protocolos hormonales más costosos.
- Tomar decisiones reproductivas basadas en un enfoque costo-beneficio individualizado, considerando el contexto productivo y económico de cada finca, para optimizar la rentabilidad sin comprometer la eficiencia reproductiva.
- Implementar registros reproductivos detallados, que permitan evaluar con precisión el desempeño de los tratamientos y apoyar decisiones técnicas en futuras campañas de inseminación o sincronización.

6. BIBLIOGRAFÍAS

- Barzallo, M. V. (2013). *Evaluación de la gonadotropina coriónica humana (hCG) como reemplazo de la GnRH en el protocolo Ovsynch de IATF en vacas Holstein-Friesian* (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador).
Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5325?locale=en>
- Baruselli, P. S., Ferreira, R. M., Colli, M. H. A., & Gimenes, L. U. (2023). Cost-benefit of fixed-time artificial insemination compared with estrus detection in dairy cows under tropical conditions. *Theriogenology*, 202, 45-53. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12171309/>
- Beachler, T. (2021). *Overview of systemic pharmacotherapeutics of the reproductive system in animals*. Merck Veterinary Manual. Obtenido de <https://www.msdsvetmanual.com/pharmacology/systemic-pharmacotherapeutics-of-the-reproductive-system/overview-of-systemic-pharmacotherapeutics-of-the-reproductive-system-in-animals>
- Cajas, L., & Torres, R. (2019). Uso de IATF en sistemas lecheros de altura de la provincia Bolívar, Ecuador. *Boletín Técnico INIAP*, 206, 1-12.
Obtenido de <https://biblioteca.iniap.gob.ec/xmlui/handle/41000/5729>
- Chanaluisa Toapanta, P. I. (2016). *Evaluación de índices en producción y reproducción de hato ganadero del CADER, durante el período 2010-2015* (Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7946>
- Carballo, D., Carballo, G., & Bó, G. A. (2023). Efecto de los días posparto sobre la tasa de preñez en vacas de cría de carne con ternero al pie tratadas para IATF. *Nutrición Animal Tropical*, 17(2), 1-23. Obtenido de <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/56046>

- De Vries, A. (2006). Economic value of pregnancy in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 3876-3885. Obtenido de [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(06\)72430-4/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(06)72430-4/fulltext)
- De Silva, M., Wickramasingha, D., Abayalath, N., et al. (2024). Early pregnancy diagnosis in cows using corpus luteum blood flow analysis based on colour Doppler ultrasonography and mRNA analysis. *BMC Veterinary Research*, 20, 572. Obtenido de <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-024-04438-5>
- Google Earth. (14 de 6 de 2025). Obtenido de google heart: https://earth.google.com/web/@0,-1.14409984,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggBSg0I_____ARAA
- Madrigal A., M. A., Colín N., J., & Hallford, D. M. (2001). *Influencia de la condición corporal y la bioestimulación sobre la eficiencia reproductiva en vacas de raza Simmental en agostadero*. *Veterinaria México*, 32(2), 87-92. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/423/42332201.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Acuerdo ministerial 134: Normas de bienestar animal para la producción pecuaria en el Ecuador*. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu139852.pdf>
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2023). *Código sanitario para los animales terrestres: Capítulo 7.1 – Introducción al bienestar animal*. Obtenido de https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/2023/chapitre_7_1_introduction.pdf
- Rajamahendran, R., & Sianangama, P. C. (1992). Effect of human chorionic gonadotropin administered at specific times following breeding on milk progesterone and

- pregnancy in cows. *Theriogenology*, 38(6), 1179–1193. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16727120/>
- Romano, J. E., Thompson, J. A., Forrest, D. W., et al. (2006). Early pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography in dairy cattle. *Theriogenology*, 66(4), 1034–1041. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16584765/>
- Rensis, F. D. (2010). Uso de la gonadotropina coriónica humana en vacas lecheras. *Theriogenology*, 73(1), 1–15. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20116839/>
- Robson, C., & Aguilar, D. (2004). Inseminación Artificial en Bovinos. Sitio Argentino de Producción Animal, 1-30. Obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/188-Inseminacion_2004.pdf
- Santos, J. E. P., & Carvalho, P. D. (2024). Economic evaluation of human chorionic gonadotropin supplementation at fixed-time artificial insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107(3), 2157-2170. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030224010221>
- Zambrano Rodríguez, D. V., Pinargote Macías, J. A., & García Paredes, R. I. (2022). Caracterización técnica y productiva del sistema bovino lechero de las ganaderías asociadas del Cantón Bolívar de la provincia de Manabí-Ecuador. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 21, e0004. <https://doi.org/10.14409/favecv.2022.0.e0004>
- Rojas, C. (2012). Evaluación de cuatro protocolos de sincronización de celo con inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en ganaderías lecheras del sector sur occidental de la hoya de Loja. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja.

- Guáqueta, H. (2009). CICLO ESTRAL: FISIOLOGÍA BÁSICA Y ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA DETECCIÓN DE CELOS. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
- Marizancén Mayra, A. L. (2017). Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. Revista de Investigación Agraria y Ambiental , 247.
- Ocampo, S. y. (1997). Farmacología Veterinaria Mexico. McGraw-Hill Interamericana .
- Plumb, D. (2010). Manual de farmacología veterinaria. Buenos Aires: InterMédica.
- Ramos, S., y Nolasco, C. (2016). Efecto de la aplicación de análogos o antagonistas de GNRH como moduladores de inmunosupresión de hormonas sexuales en lagomorfos. (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Roura, J. S. (1998). efecto del tratamiento con HCG. Shearer. (2003). Fisiología de la Reproducción Bovina.
- Sianangama PC, Rajamahendran R. Effect of human chorionic gonadotropin administered at specific times following breeding on milk progesterone and pregnancy in cows. Theriogenology. 1992 Jul.
- SINTEX. (2005). Manejo Reproductivo en Bovinos de Carne .
- Shearer. (2003). Fisiología de la Reproducción Bovina.
- Sheldon, M. (2006). El manejo de la Reproducción Bovina en rebaños de Elite . En ELSEVIER.
- VELASTEGUI, E. (2012). Administración de GNRH Y HCG post inseminación
- Sheldon, M. (Enero 2006). El manejo de la Reproducción Bovina en rebaños de Elite . En ELSEVIER.
- SINTEX. (2005). Manejo Reproductivo en Bovinos de Carne

- Trimberger, George W. (1948) Eficiencia reproductiva en ganado lechero mediante inseminación artificial en diversos intervalos antes y después de la ovulación (Boletín de Investigación: Boletín de la Estación Experimental Agrícola de Nebraska n.º 153)
- VELASTEGUI, E. (2012). Administración de GNRH Y HCG post inseminación artificial para incrementar la fertilidad en vacas Holstein Mestizas.
- Vélez, M; Hincapié, J.J y Matamorros, I. 2006. Producción de ganado lechero en el trópico. 5ª ed. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. p. 175-176.

7. ANEXOS

REGISTRO DE OBSERVACIÓN LOS TRATAMIENTOS								Resultados
#	N° VACA	EDAD		CC	N° PARTOS	TRATAMIENTO	CONDICIÓN PREÑADA (1) NO PREÑADA (0)	
		AÑOS	MESES					
1	70	5	4	3	3	E2-P4-PGF2alfa	0	11 de 20 preñadas
2	48	6	0	3	4	E2-P4-PGF2alfa	0	
3	42	2	9	3	1	E2-P4-PGF2alfa	1	
4	43	3	6	3	2	E2-P4-PGF2alfa	1	
5	45	3	6	3	2	E2-P4-PGF2alfa	1	
6	92	2	6	3	1	E2-P4-PGF2alfa	1	
7	23	3	8	3	2	E2-P4-PGF2alfa	1	
8	24	3	6	3	2	E2-P4-PGF2alfa	0	
9	89	6	6	4	3	E2-P4-PGF2alfa	0	
10	152	4	6	3	3	E2-P4-PGF2alfa	1	
11	0	5	0	4	3	E2-P4-PGF2alfa	1	
12	20	7	0	4	5	E2-P4-PGF2alfa	0	
13	242	4	0	3	2	E2-P4-PGF2alfa	1	
14	245	5	6	3	3	E2-P4-PGF2alfa	0	
15	80	7	0	5	5	E2-P4-PGF2alfa	0	
16	19	4	6	4	2	E2-P4-PGF2alfa	1	
17	77	6	0	4	4	E2-P4-PGF2alfa	0	
18	56	5	6	3	3	E2-P4-PGF2alfa	0	
19	62	6	0	4	3	E2-P4-PGF2alfa	1	
20	12	5	0	5	3	E2-P4-PGF2alfa	1	
21	14	5	0	3,5	3	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	14 de 20 preñadas
22	19	4	0	3	2	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
23	72	4	0	3	2	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
24	0	3	6	3,5	1	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
25	0	3	6	3,5	2	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
26	0	3	6	3,5	1	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
27	44	6	0	3	4	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
28	720	8	0	2,5	6	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
29	718	7	6	3	5	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
30	42	4	1	2,5	3	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
31	22	4	0	3	2	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
32	14	6	0	4	4	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
33	15	6	0	3,5	4	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
34	16	5	0	3	3	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
35	17	5	0	3	3	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
36	18	5	0	3	2	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
37	19	3	0	3	1	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
38	0	6	0	2,5	4	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	
39	0	5	0	2,5	3	E2-P4-PGF2alfa+HCG	0	
40	150	3	0	3,5	1	E2-P4-PGF2alfa+HCG	1	

Fotografía 1. Ficha de campo



Fotografía 2. Inicio de protocolo



Fotografía 3. Retiro del dispositivo y aplicación de PGF2alfa y estrógenos



Fotografía 4. Inseminación artificial



Fotografía 5. Aplicación de HCG vía intravenosa



Fotografía 6. Chequeo ecográfico