



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Maestría en Reproducción Animal con Mención En Rumiantes

**Eficiencia en la administración de minerales previo a la
utilización de un protocolo de sincronización de celo en vacas
Brown- Swiss en el cantón Pallatanga.**

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Reproducción Animal con mención
en Rumiantes

AUTOR:

Luis Aníbal Chávez Gaguancela

DIRECTOR:

PhD. Mauro Iván Guevara Palacios

Loja-Ecuador

2025

Certificación

Certificación de director del trabajo de Titulación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **GUEVARA PALACIOS MAURO IVAN**, director del Trabajo de Titulación denominado **Eficiencia en la administración de minerales previo a la utilización de un protocolo de sincronización de celo en vacas brown- swiss en el cantón Pallatanga**, perteneciente al estudiante **LUIS ANIBAL CHAVEZ GAGUANCELA**, con cédula de identidad N° **0605488121**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Titulación**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Titulación**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Loja, 18 de Diciembre de 2024

F)  
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-003113

Certificación de autoría

Yo, **Luis Aníbal Chávez Gaguancela**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 0605488121

Fecha: 28 de marzo del 2025

Correo electrónico: luis.chavez@unl.edu.ec

Teléfono: 0979280995

Carta de autorización del estudiante

Yo, **Luis Aníbal Chávez Gaguancela**, declaro ser autor/a del Trabajo de Titulación denominado: **Eficiencia en la administración de minerales previo a la utilización de un protocolo de sincronización de celo en vacas Brown- Swiss en el cantón Pallatanga**, como requisito para optar por el título de **Magíster en Reproducción Animal con mención en Rumiantes**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinte y ocho días del mes de marzo de dos mil veinticinco.

Firma:

Autor/a: Luis Aníbal Chávez Gaguancela

Cédula: 0605488121

Dirección: Alausí, Guasuntos calle Pedro Vicente Maldonado

Correo electrónico: luis.chavez@unl.edu.ec

Teléfono: 0979280995

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director/a del Trabajo de Titulación: PhD. Mauro Iván Guevara Palacios

Dedicatoria

A mis queridos padres, Aníbal y Zoila, por ser mi mayor fortaleza y mi inspiración constante. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado de la dedicación, la humildad y la perseverancia. Este logro es el reflejo de todo lo que me han dado, y les dedico esta meta con el corazón lleno de gratitud y amor.

A mis queridas hermanas, Sandra y Marcela, quienes han sido mi fortaleza en cada paso de este camino. Gracias por su cariño, sus palabras de aliento y por ser siempre mi inspiración.

A mis adoradas sobrinas Heidy, Danna, Katalina y Arleth, y a mi querido sobrino Luisito, quienes llenan mi vida de alegría, esperanza y amor puro. Cada risa, cada abrazo y cada momento compartido con ustedes ha sido una fuente de inspiración para superar los desafíos y seguir adelante. Dedico este logro a ustedes, con la esperanza de que siempre persigan sus sueños con valentía y determinación.

A mis tíos y primos, por su afecto y apoyo incondicional, siempre presentes en los momentos importantes de mi vida.

A los docentes de la Universidad Nacional de Loja, por compartir su conocimiento, su paciencia y su dedicación. Gracias por guiarme en este proceso y por contribuir a mi formación profesional y personal.

Finalmente, dedico este logro a mí mismo, por no rendirme y demostrar que con pasión, dedicación y trabajo, los sueños pueden hacerse realidad. Esta tesis es el resultado de mi esfuerzo, mi dedicación y mi pasión por aprender y crecer. Cada desafío enfrentado, cada noche de estudio, cada momento de incertidumbre me han fortalecido y me han enseñado que todo es posible cuando se trabaja con determinación. Este logro es un recordatorio de que soy capaz de alcanzar lo que me proponga. ¡Qué este sea solo el comienzo de muchos otros sueños por cumplir!.

Luis Aníbal Chávez Gaguancela

Agradecimiento

Culminar este proyecto de titulación del grado de Magíster en Reproducción Animal ha sido un viaje enriquecedor y desafiante que no hubiera sido posible sin el apoyo y la guía de personas excepcionales.

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a mi director de tesis, por su invaluable mentoría, paciencia y dedicación. Su visión y experiencia fueron fundamentales para dar forma a esta investigación y llevarla a buen término.

Quiero reconocer el apoyo de mis profesores y compañeros de la Universidad Nacional de Loja, quienes me brindaron un ambiente de aprendizaje estimulante y colaborativo. Sus conocimientos y experiencias fueron una fuente constante de inspiración y motivación. A lo largo de este camino, he aprendido valiosas lecciones, no solo profesionales, sino también humanas. Su confianza, apoyo y trabajo en equipo han sido el motor que impulsó cada proyecto y desafío que enfrentamos juntos.

A mi familia y amigos, les agradezco su amor incondicional y apoyo inquebrantable durante todo este proceso. Su aliento y comprensión fueron fundamentales para superar los obstáculos y alcanzar esta meta.

A todos ustedes, ¡muchas gracias! Su apoyo y guía fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto de titulación.

Luis Aníbal Chávez Gaguancela

Índice de contenidos

Certificación.....	ii
Carta de autorización del estudiante.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de Anexos.....	xi
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Anatomía de la hembra bovina.....	6
4.1.1. Anatomía externa.....	7
4.1.1.1. Vulva.....	7
4.1.2. Anatomía interna.....	7
4.1.2.1. Vagina.....	7
4.1.2.2. Útero.....	8
4.1.2.3. Oviductos.....	8
4.1.2.4. Ovarios.....	9
4.2. Fisiología y ciclos reproductivos.....	10
4.2.1. Ciclo sexual.....	10
4.2.2. Ciclo estral.....	10
4.2.2.1. Fases del ciclo estral.....	11
4.3. Inseminación Artificial.....	12
4.4. Sincronización de celo.....	14
4.5. Administración de minerales.....	15
5. Metodología.....	18
5.1. Área de estudio.....	18
5.2. Enfoque metodológico.....	18
5.2.1. Diseño de la investigación.....	19

5.2.2.	Tamaño de la muestra y tipo de muestreo.....	19
5.2.3.	Procedimientos y técnicas	19
5.2.4.	Variables de estudio	20
5.3.	Procesamiento y análisis de la información	21
5.4.	Consideraciones éticas	21
6.	Resultados	22
7.	Discusión	27
8.	Conclusiones	29
9.	Recomendaciones	30
10.	Bibliografía	31
11.	Anexos	34

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables	20
Tabla 2. Caracterización del grupo de estudio según la edad	22
Tabla 3. Caracterización del grupo de estudio según la condición corporal	23
Tabla 4. Promedio de la dinámica folicular (mm) en respuesta al uso de minerales.	23
Tabla 5. Tamaño de cuerpo lúteo (mm) en respuesta al uso de minerales.....	24
Tabla 6. Expresión de celo en (%) en respuesta al uso de minerales	25
Tabla 7. Balance de la dinámica folicular(mm) entre grupos de estudio.	26

Índice de figuras

Figura 1. Localización de las estructuras que componen el tracto reproductivo de la hembra bovina	6
Figura 2. Palpación rectal de la vaca para inseminación artificial	12
Figura 3. Mapa de ubicación, zonas ganaderas y de producción del cantón Pallatanga	18
Figura 4. Caracterización del grupo de estudio según la edad	22
Figura 5. Caracterización del grupo de estudio según la condición corporal	23
Figura 6. Dinámica folicular por grupo de estudio	24
Figura 7. Promedio tamaño de cuerpo lúteo por grupo	25
Figura 8. Expresión de celo (%) por grupo	25

Índice de anexos

Anexo 1. Chequeo ginecológico mediante ecografía.....	34
Anexo 2. Administración parenteral de LIVAFOS SE.....	35
Anexo 3. Administración parenteral de YODOCALCIO MG.....	35
Anexo 4. Medición del diámetro folicular día 16 mediante ecografía.....	36
Anexo 5. Presencia de celo en bovino hembra.....	36
Anexo 6: Matriz de datos en Microsoft Excel.....	37
Anexo 7: Certificado de traducción del Abstract.....	39

1. Título

Eficiencia en la administración de minerales previo a la utilización de un protocolo de sincronización de celo en vacas Brown- Swiss en el cantón Pallatanga.

2. Resumen

La producción bovina en el cantón Pallatanga enfrenta desafíos en la eficiencia reproductiva, la nutrición es un factor clave. La sincronización de celo, una herramienta biotecnológica para mejorar esta eficiencia. La deficiencia de minerales esenciales puede afectar negativamente la calidad ovocitaria, la función endometrial y la respuesta inmunológica, comprometiendo la fertilidad. La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la suplementación mineral vía parenteral en la actividad ovárica previo a un protocolo de sincronización de celo en vacas Brown- Swiss en el cantón Pallatanga. Se realizó en 30 vacas distribuidas en tres grupos de 10 individuos. El primer y segundo grupo corresponden a grupos que recibieron suplementación mineral, mientras que el grupo 3 representó al grupo control. Se utilizó estadística descriptiva y la aplicación de la prueba paramétrica ANOVA y Test de Tukey para comparación entre grupos. El estudio reveló diferencias significativas en la actividad ovárica de las vacas tratadas con minerales en comparación con el grupo control, no se observaron diferencias en el tamaño de los folículos al inicio del estudio (día 0), a partir del día 8 y hasta el día 16, las vacas tratadas presentaron desarrollo folicular ($p < 0,0001$). De manera similar, el tamaño del cuerpo lúteo, un indicador de la función ovárica y la potencial fertilidad ($p < 0,0001$). En las vacas que recibieron suplementación mineral, se registraron diferencias en la expresión de celo ($p = 0,0067$) entre los grupos de tratamiento y el grupo control, lo que sugiere que la administración de minerales también pudo haber influido esta variable. La administración de minerales previo a la sincronización de celo tuvo un efecto positivo en la dinámica folicular, el tamaño del cuerpo lúteo y la expresión de celo. Estos resultados tienen implicaciones prácticas importantes para mejorar la eficiencia de los programas de reproducción en esta raza y en la región.

PALABRAS CLAVE. Suplementación mineral, vacas Brown-Swiss, sincronización de celo, eficiencia reproductiva.

2.1. Abstract

The Cattle production in the Pallatanga canton faces challenges in reproductive efficiency, with nutrition being a key factor. Estrus synchronization, a valuable biotechnological tool, can enhance this efficiency, but its success largely depends on the animals' nutritional status. Deficiencies in essential minerals can negatively affect oocyte quality, endometrial function, and immune response, compromising fertility. Therefore, mineral supplementation, particularly parenteral route administration, emerges as a promising strategy to optimize reproductive function. The research aimed to evaluate the efficiency of parenteral mineral supplementation on ovarian activity prior to the implementation of an estrus synchronization protocol in Brown Swiss cows in the Pallatanga canton, was conducted on 30, divided into three groups of 10 individuals. The first and second groups received parenteral mineral supplementation before the synchronization protocol, while the third group served as the control group. The study which used descriptive statistics and the application of the parametric ANOVA test and Tukey's test for group comparisons. The study revealed significant differences in the ovarian activity of Brown Swiss cows treated with minerals compared to the control group. Although no differences in follicle size were observed at the beginning of the study (day 0), from day 8 to day 16, treated cows showed significantly greater follicular development ($p < 0.0001$). Similarly, the size of the corpus luteum, an indicator of ovarian function and potential fertility, was significantly larger ($p < 0.0001$) in cows that received mineral supplementation. Additionally, significant differences were found in estrus expression ($p = 0.0067$) between the treatment groups and the control group, suggesting that mineral administration may have also influenced the manifestation of estrus in the cows. The administration of minerals prior to estrus synchronization had a positive effect on follicular dynamics, corpus luteum size, and estrus expression. These findings could have important practical implications for improving the efficiency of reproductive programs in this breed and region.

KEYWORDS. Mineral supplementation, Brown-Swiss cows, estrus synchronization, reproductive efficiency.

3. Introducción

El ganado bovino es uno de los recursos agropecuarios de mayor importancia para el Ecuador. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2020), existen 4 335 924 cabezas de ganado bovino. El cantón Pallatanga, dispone en promedio de 1,15 cabezas de ganado por hectárea (GAD PALLATANGA, 2023). De esta forma, la producción bovina constituye un pilar fundamental en la economía familiar, siendo una fuente importante de alimento y generando ingresos económicos para el cantón. Sin embargo, factores como las condiciones nutricionales y el manejo reproductivo caracterizado por deficiente asesoría y desconocimiento limitan la eficiencia reproductiva.

La sincronización de celo es una herramienta biotecnológica ampliamente utilizada para mejorar la eficiencia reproductiva en los hatos bovinos (Mion, y otros, 2023). Esta técnica permite agrupar a las hembras en un celo sincronizado, facilitando la inseminación artificial y aumentando las tasas de concepción. El éxito de estos protocolos está influenciado por diversos factores, entre los que destaca la condición nutricional de los animales (Corea Urbina & Hernández Amador, 2007).

Estudios previos (Vedovatto, y otros, 2019) han demostrado que la deficiencia de ciertos minerales, como el selenio, cobre, zinc, etc. puede afectar negativamente la calidad ovocitaria, la función endometrial y la respuesta inmunológica, comprometiendo así la eficiencia reproductiva. Estos minerales desempeñan un papel crucial en diversos procesos fisiológicos, como la síntesis de enzimas antioxidantes, la producción de hormonas y la función inmunitaria, todos ellos esenciales para una reproducción exitosa (El-Hamd, y otros, 2023).

De esta forma, el empleo de minerales previo a la sincronización del ciclo estral para inseminación artificial supone una alternativa que propicia mejorar los indicadores reproductivos en el ganado bovino evitando fallas en la presentación de celos, bajas tasas de concepción, pérdidas gestacionales, anestros, quistes ováricos, retardo en la presentación de la pubertad en hembras y machos, retención de membranas fetales, mastitis, mayor susceptibilidad a enfermedades (Córdoba Martínez & García Burbano, 2006; Mion, y otros, 2023).

En este contexto, el presente estudio se centra en evaluar la eficiencia de la suplementación mineral vía parenteral en la actividad ovárica de vacas Brown-Swiss, una raza

de importancia económica en la región de Pallatanga. Específicamente, analizando su efecto sobre el desarrollo folicular y la formación del cuerpo lúteo, eventos clave en el ciclo estral y la fertilidad. De forma específica los objetivos que perseguimos son los siguientes:

- Evaluar el efecto de la administración parenteral de minerales en la actividad ovárica de vacas Brown-Swiss previo a la inseminación, midiendo la respuesta folicular y el desarrollo del cuerpo lúteo.
- Comparar el diámetro folicular alcanzado antes de la inseminación entre vacas tratadas con minerales y las que no recibieron el tratamiento.
- Determinar el tamaño del cuerpo lúteo entre los dos tratamientos como indicador del éxito de la sincronización y potencial fertilidad.

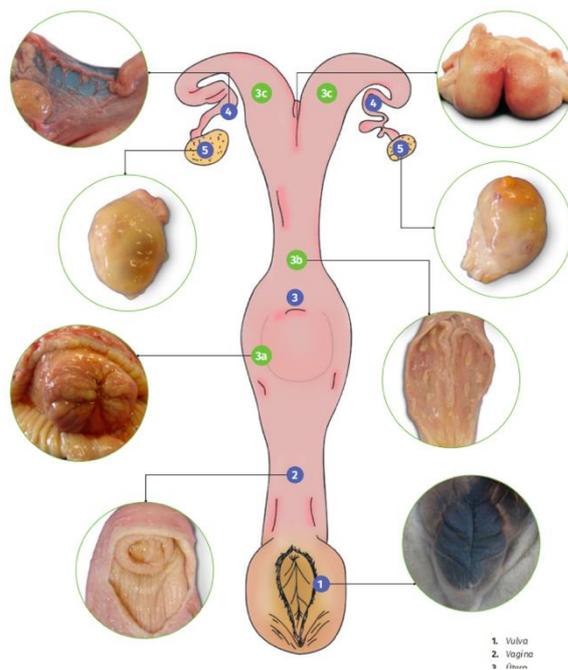
Finalmente, se plantea la hipótesis de que la administración vía parenteral de minerales previa a la sincronización de celo incrementará el diámetro folicular dominante y el tamaño del cuerpo lúteo, mejorando así la tasa de concepción. Creemos que, los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa para optimizar los protocolos de sincronización de celo en sistemas de producción bovina de pequeña escala. Al identificar los beneficios de la suplementación mineral, se podrá mejorar la eficiencia reproductiva de los hatos y, por ende, la rentabilidad de los productores, contribuyendo a la sostenibilidad de la actividad ganadera en la región.

4. Marco teórico

4.1. Anatomía de la hembra bovina

El aparato reproductor de la hembra bovina está formado por una serie de estructuras anatómicas (Ver figura 1), que se organizan y distribuyen formando una cavidad tubular que varía en diámetro y espesor dependiendo de la función para la cual están biológicamente diseñados. En ella se observan tanto estructuras externas como internas compuestas por tejidos flexibles, que permiten cambios drásticos en su tamaño, y estructuras con diámetros muy pequeños, que favorecen el encuentro entre las células germinales (Carrillo-González, 2021)

Figura 1. Localización de las estructuras que componen el tracto reproductivo de la hembra bovina (1. vulva, 2. vagina, 3. útero, 3a. cérvix, 3b. cuerpo, 3c. cuernos, 4. oviductos, 5. ovarios).



Fuente: (Carrillo-González, 2021)

4.1.1. Anatomía externa

4.1.1.1. Vulva

La vulva es la estructura externa de apertura del aparato reproductor. Cumple con tres funciones principales: dejar pasar la orina, abrirse para permitir la cópula y sirve como parte del canal de parto. (Nebel & DeJarnette, 2011; Morales Muñoz, 2021).

Los labios de la vulva son dos y se encuentran localizados a los lados de la apertura vulvar. Poseen aspecto seco y arrugado cuando la vaca no está en celo. En la medida que el animal se acerque al celo, la vulva empezará a hincharse y presentará una apariencia rojiza y húmeda. Esta estructura se encuentra limitada por la comisura dorsal, que puede presentarse de manera aguda o redondeada en función de la raza, y por la comisura ventral, que tiene una disposición aguda con presencia de pelos (Nebel & DeJarnette, 2011; Morales Muñoz, 2021).

Por otro lado, el clítoris de la vaca tiene raíces muy cortas, no obstante, el cuerpo mide de 10 a 12 cm de longitud y es flexuoso (Morales Muñoz, 2021).

4.1.2. Anatomía interna

4.1.2.1. Vagina

La vagina es una estructura fibroelástica tubular con pliegues internos longitudinales que le permiten tener una gran capacidad de distensión. En promedio, posee seis pulgadas de largo, extendiéndose desde la apertura uretral hasta el cérvix (Carrillo-González, 2021).

Dentro de sus funciones, durante la monta natural, el semen es depositado en la porción anterior de la vagina propiciando el paso de los espermatozoides al canal cervical. sirve como parte del canal de parto (Nebel & DeJarnette, 2011; Morales Muñoz, 2021).

En la vaca, la parte más caudal de la vagina se denomina vestíbulo vaginal, delimitado de la vagina propiamente dicha o vagina craneal por el orificio uretral externo (ubicado en posición ventral). En posición caudal al orificio uretral externo se observan dos depresiones laterales correspondientes a la desembocadura del conducto de las glándulas vestibulares

mayores (glándulas de Bartolini). Además, existe un pequeño saco ciego en la parte ventral del orificio uretral llamado divertículo suburetral. Durante el proceso de inseminación artificial se debe ser muy cuidadoso con estos orificios, debido a que pueden ser objeto de errores en el momento del paso de la pistola de inseminación (Carrillo-González, 2021).

4.1.2.2. Útero

El útero se encuentra formado por: cérvix o cuello, un cuerpo y dos cuernos uterinos divergentes y tiene como función principal proveer el ambiente óptimo para el desarrollo fetal (Carrillo-González, 2021).

El cérvix corresponde a la parte más caudal del útero, de paredes gruesas, establece la conexión entre la vagina y el cuerpo del útero. Está compuesto de tejido conectivo denso y músculos, y es el punto de referencia al inseminar una vaca. El cuello uterino presenta una consistencia firme a la palpación debido a la presencia de tres o cuatro pliegues cartilagosos circulares irregulares denominados anillos o pliegues cervicales, de los cuales, el más caudal se proyecta hacia la vagina. Dicha proyección forma un saco ciego en la vagina llamado fórnix vaginal. Este diseño le facilita cumplir su función principal, que es la de proteger el útero del medio ambiente exterior (Nebel & DeJarnette, 2011; Morales Muñoz, 2021).

El cuerpo uterino sirve de conexión entre los dos cuernos uterinos y el cérvix. Representa el lugar donde se debe depositar el semen durante la inseminación artificial. Los cuernos uterinos están formados por tres capas musculares y red de vasos sanguíneos intrincada que permiten la recepción del embrión en desarrollo, facultan el proceso de implantación y desarrollo hasta el momento del parto. Los cuernos uterinos están separados entre sí por el tabique intercornual, pero se encuentran sostenidos por el ligamento ancho (mesometrio) y el ligamento intercornual (Carrillo-González, 2021).

4.1.2.3. Oviductos

Los oviductos o salpinx, salpinx o trompas de Falopio, son estructuras tubulares con un recorrido tortuoso, localizada entre la extremidad craneal de cada cuerno uterino y los ovarios. Su principal función es atrapar y transportar a los gametos femeninos (ovocitos) y

propiciar el encuentro entre los ovocitos y los gametos masculinos (espermatozoides) para que ocurra la fertilización (Nebel & DeJarnette, 2011; Morales Muñoz, 2021).

Estructuralmente, constan de tres regiones anatómicas: infundíbulo, ampolla e istmo. La porción más baja y cercana al útero, se denomina istmo. La conexión entre el útero y el istmo se denomina unión útero-tubal, la cual sirve como filtro de espermatozoides anormales y reservorio de espermias hábiles. Además, su función principal es comunicar el oviducto con la porción apical de los cuernos uterinos. Por otro lado, la porción más alta del oviducto es la Ampolla. Esta estructura presenta un diámetro mayor al istmo permitiendo la fertilización. Finalmente, la estructura en forma de embudo al final del oviducto se denomina infundíbulo, rodea los ovarios y transporta el ovocito, evitando que éstos caigan a la cavidad abdominal (Nebel & DeJarnette, 2011; Besenfelder, Brem, & Havlicek, 2020).

4.1.2.4. Ovarios

Los ovarios son los órganos principales del aparato reproductor femenino. Tienen dos funciones principales: la producción de óvulos y la producción de hormonas, principalmente estrógenos y progesterona, durante los distintos estadios del ciclo estral.

En la vaca se localizan en la región caudal del abdomen cerca al reborde pélvico (pubis) y en su mayoría poseen una forma ovoide; sin embargo, debido a los cambios cíclicos que sufren y la edad de la vaca, su superficie es irregular y su tamaño varía entre 1 a 10 cm de longitud (Carrillo-González, 2021).

Estructuralmente, en su superficie se pueden encontrar dos estructuras diferentes: folículos y cuerpo lúteo. Los folículos son estructuras llenos de fluidos, que contienen los óvulos en desarrollo. Comúnmente, se pueden encontrar varios folículos en cada ovario que varían en diámetro desde apenas visibles hasta 20 mm. El folículo más grande sobre el ovario es considerado "el dominante", y es el que probablemente ovule cuando el animal entre en celo. Con el tiempo, más del 95% de los otros folículos entran en regresión y mueren sin ovular, siendo reemplazados por una nueva generación de folículos en crecimiento. La otra estructura que se encuentra en la superficie del ovario es el cuerpo lúteo (CL). El CL crece sobre el sitio de la ovulación del celo anterior y tendrá una corona sobre su estructura, lo cual facilita su identificación durante la palpación rectal (Carrillo-González, 2021).

4.2. Fisiología y ciclos reproductivos

4.2.1. Ciclo sexual

El aparato reproductor de la hembra bovina se encuentra regulado por el sistema nervioso central y periférico. Las principales hormonas reproductivas se producen en dos regiones del sistema nervioso central denominadas: el hipotálamo y la hipófisis. Una vez sintetizadas y liberadas desde la hipófisis viajan hacia los ovarios para estimularlos e iniciar la síntesis de hormonas ováricas como los estrógenos y la progesterona (Carrillo-González, 2021).

Después de la pubertad, en la hembra bovina joven (novilla), se estimulan con mayor intensidad los centros neuronales en el hipotálamo y aumenta la producción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Esta hormona estimula la porción anterior de la hipófisis, encargada de producir la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), conocidas como hormonas gonadotrópicas. La FSH estimula en el ovario la producción de otra hormona denominada $17\text{-}\beta$ estradiol (E2) y el crecimiento de folículos emergentes cuyo diámetro en promedio es de 3 mm, iniciando el reclutamiento de una cohorte folicular nueva de donde será seleccionado el folículo que ovulará un ovocito (Carrillo-González, 2021).

Por otro lado, la LH es la hormona clave para desencadenar la ovulación del folículo dominante y de inducir la luteinización de los folículos, proceso clave para iniciar la síntesis y liberación de la progesterona (P4) (Carrillo-González, 2021).

Cuando el folículo alcanza un tamaño mayor a 15 mm llega a su máximo nivel de producción de E2, la cual viaja por vía sanguínea hacia el hipotálamo y allí induce la estimulación del centro de pico de GnRH para la liberación de LH, de manera que esta última se libere masivamente al torrente sanguíneo y llegue al ovario a desencadenar el proceso de ovulación (rompimiento del folículo dominante y preovulatorio) (Carrillo-González, 2021).

4.2.2. Ciclo estral

Llamamos ciclo estral de la hembra bovina al conjunto de acontecimientos fisiológicos que ocurren cada 18 a 24 días aproximadamente gracias a la actividad conjunta entre el

hipotálamo, la hipófisis y los ovarios. La variabilidad en la duración del ciclo en días puede deberse a factores como la raza, el ambiente, el manejo, el estado sanitario, la nutrición, entre otros. En general, el ciclo estral de los mamíferos se divide en dos importantes etapas: la fase folicular y la fase luteal (Carvajal, Martínez, Tapia, & Ayke, 2020).

La fase folicular es aquella donde existe una dominancia de estructuras foliculares en el ovario, que producen concentraciones importantes de E2. En las hembras bovinas esta etapa la conforma el proestro y el estro (Carvajal, Martínez, Tapia, & Ayke, 2020).

La fase luteal es aquella donde existe una dominancia ovárica de un cuerpo lúteo maduro o inmaduro, que produce P4. En la vaca esta etapa la conforman el metaestro y el diestro (Bishop, Selvaraj, Townson, Pate, & Wiltbank, 2022).

4.2.2.1. Fases del ciclo estral

Las fases identificables dentro del ciclo estral en la vaca son:

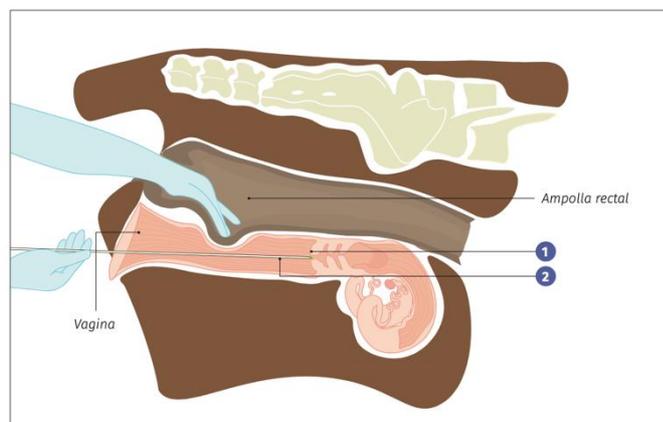
- **Proestro:** en esta etapa se observa un aumento gradual en los niveles de E2 producidos por el folículo dominante. Su duración es, aproximadamente, de 3 a 5 días (Moreno Forero, 2023).
- **Estro:** también conocido como calor o celo. Esta etapa se encuentra caracterizada por la receptividad de la hembra hacia el toro permitiendo la monta. Aquí, los niveles sanguíneos de E2 producidos por el folículo preovulatorio llegan a su máxima concentración. Tiene una duración entre 10 y 20 horas; sin embargo, este tiempo dependerá de factores como la raza, la edad, el clima, el manejo y la nutrición (De Rensis, y otros, 2024).
- **Metaestro:** es la etapa del ciclo estral que se presenta después del estro y se caracteriza porque se da la ovulación del folículo preovulatorio o dominante. En esta etapa los niveles de E2 disminuyen y comienza a aumentar la producción de P4. Su duración es de 2 a 5 días en promedio (Moreno Forero, 2023).

- Diestro: es la etapa caracterizada por la presencia de un cuerpo lúteo funcional, responsable de aumentar los niveles sanguíneos de P4 al máximo, para mantener una eventual gestación. Si la vaca queda gestante el cuerpo lúteo permanecerá funcional hasta unos días antes de finalizar la gestación; de lo contrario, el cuerpo lúteo sufrirá lisis por acción de la prostaglandina F2 α (PGF2 α), entre los días 15 y 17 del ciclo, dando fin a esta fase. La duración del diestro es de aproximadamente 10 a 12 días (Moreno Forero, 2023; Bishop, Selvaraj, Townson, Pate, & Wiltbank, 2022).

4.3. Inseminación Artificial

Podemos definir la inseminación artificial (IA) como una técnica mediante la cual el semen, que ha sido previamente extraído de un macho, es depositado en el tracto genital de una hembra en un momento específico, utilizando un instrumental y una técnica adecuada (Ver figura 2), que favorezca el proceso de fertilización de un ovocito para obtener una gestación futura viable (Carrillo-González, 2021; Coelho & de Morais, 2023).

Figura 2. Palpación rectal de la vaca para inseminación artificial (1. Localización del cérvix, 2. Posicionamiento de la pistola en la entrada del primer anillo cervical).



Fuente: (Carrillo-González, D. F, 2021)

La inseminación artificial es una herramienta que permite avanzar en el mejoramiento genético de la población bovina, siempre y cuando se tomen decisiones acertadas. Implementando esta técnica se puede hacer un aprovechamiento más eficiente de los espermatozoides provenientes de machos, que hayan sido evaluados y aprobados como mejoradores, y cubrir un gran número de hembras bovinas con un solo eyaculado del toro mejorador (Mercadante & Lamb, 2024).

Por lo anterior, dependiendo del sistema de producción, un programa de inseminación artificial permite: la eliminación de toros, tener un mejor control sanitario, llevar un mejor control de cruzamientos y establecimiento de árboles genealógicos en el sistema de producción e incluso llegar a disminuir los costos de producción (Carrillo-González, 2021).

Sin embargo, para la implementación de un programa de inseminación artificial, se deberán tener en cuenta algunas condiciones como: el estado nutricional y sanitario de las hembras y las instalaciones mínimas requeridas. Además, es indispensable contar con personal idóneo que cuente con un entrenamiento adecuado y la respectiva experticia. Es así que como requerimientos básicos, podemos sugerir:

- Selección del semen: es necesaria la utilización del semen de buena calidad, que cumpla con estándares sanitarios, proveniente de toros evaluados y caracterizados como mejoradores, que sea procesado y distribuido por personas o empresas responsables y de confianza. Para un momento correcto de la inseminación, se debe considerar la vida útil de los espermatozoides, que oscila entre 24 y 30 h, así como el tiempo requerido para el transporte de espermatozoides al sitio de fertilización, que promedia de 6 a 8 h (De Rensis, y otros, 2024)
- Selección de las hembras: es muy importante que, antes de comenzar un programa la inseminación artificial, un médico veterinario o médico veterinario zootecnista realice un examen ginecológico (incluyendo la palpación rectal) de las hembras candidatas a ser seleccionadas para ser inseminadas; con el fin de separar del grupo de hembras a aquellas que no sean aptas por alguna razón. Por ejemplo, que no hayan terminado el proceso de involución posparto, que su condición corporal no sea adecuada, que estén gestantes o que presenten anomalías en el tracto reproductivo (De Rensis, y otros, 2024).
- Personal capacitado: como se mencionó anteriormente, el personal destinado a la inseminación artificial debe contar con una formación y capacitación técnica en temas de alta relevancia como: el manejo de termos de nitrógeno para el almacenamiento de semen, registros para inseminación artificial, detección de celos, bienestar animal y por supuesto en la técnica de inseminación artificial (Carrillo-González, 2021).

- Instalaciones: se requiere una correcta identificación y separación de potreros, que permita la agrupación de hembras y la diferenciación de lotes de animales. Adicionalmente, es conveniente que los potreros destinados para el mantenimiento de las hembras a ser inseminadas se encuentren cerca del corral, y que este cuente con sombra, luz eléctrica, bebederos, comederos y saladeros. También sería ideal tener un espacio que le permita al inseminador trabajar en forma higiénica y en donde pueda guardar todos los materiales que necesita para su trabajo. Se recomienda que este espacio sea fresco y protegido de la luz solar, ya que ambientes calurosos favorecen la evaporación de nitrógeno de forma más rápida en el termo de nitrógeno líquido (Carrillo-González, 2021).

4.4. Sincronización de celo

La “sincronización de celo”, es una técnica complementaria a la inseminación que modifica los ciclos de un grupo de hembras, para que presenten un ciclo fértil en uno o varios días programados, pudiendo realizar inseminación artificial, si se quiere sin detección de celo a tiempo fijo” (Moreno Forero, 2023).

En otras palabras, involucra el control o manipulación del ciclo estral con el propósito de que las hembras elegidas en un rebaño expresen estro (celo), aproximadamente al mismo tiempo. Es un manejo bastante utilizado en los programas de inseminación artificial (IA), trasplante de embriones, concentraciones de partos y uso intensivo, por pocos días, de un toro con monta natural. En este procedimiento, la exposición a progesterona es un requisito indispensable para el reinicio de la actividad ovárica posparto, y su inclusión es imprescindible para el éxito de cualquier tratamiento hormonal de anestro. El factor determinante en la sincronización es la elección del método adecuado, que se ajuste a las condiciones de cada animal (Intagri, 2018)

Su importancia comprende una parte esencial e integral del manejo reproductivo en los sistemas de producción bovina con pautas a los productores para mejorar genéticamente y que comprendan que un mal manejo en la detección de celo es el factor principal de un bajo porcentaje de efectividad en la utilización de una de las biotecnologías reproductivas como lo

es la Inseminación Artificial y de una pobre eficiencia reproductiva en los hatos ganaderos (Moreno Forero, 2023).

Es evidente que la búsqueda para la solución de este problema de manejo llevó a idear mejores protocolos para la sincronización del celo y la ovulación, que al ser más eficientes durante el servicio permiten mantener índices de fertilidad adecuados. Idealmente, un protocolo de sincronización del celo debe producir un estro fértil y una alta respuesta, en un grupo de hembras (Moreno Forero, 2023).

En la actualidad muchos trabajos no hablan solo de sincronizar celo, sino también de sincronización de la ovulación, con el objeto de aumentar las posibilidades de éxito del servicio (Bo, 2003). Existen muchos protocolos disponibles en el mercado que tienen como fin aumentar la efectividad reproductiva en un hato ganadero (Coelho & de Morais, 2023).

4.5. Administración de minerales

Las vitaminas y minerales cumplen con una función esencial en los procesos de reproducción por sus funciones en el metabolismo, mantenimiento y crecimiento celular. Entre los más importantes con su función encontramos:

- El efecto sobre la actividad reproductiva del macromineral fósforo (P) es bien debatido, de tal forma que estudios han informado de la disminución de la tasa de fertilidad, disminución de la actividad ovárica, ciclos estrales irregulares, un aumento de la incidencia de ovarios quísticos, un retraso en la madurez sexual y bajas tasas de concepción cuando su ingesta o suplementación es baja (Gupta, 2021).
- El zinc (Zn) El zinc es bien reconocido por su importancia en el desempeño reproductivo. Nazari y colaboradores informaron que concentraciones circulantes más altas de zinc se asociaron con una actividad lútea normal y tasas de preñez más altas (Van Emon, Sanford, & McCoski, 2020). La deficiencia de este elemento puede afectar directamente la actividad de los ovarios o el mecanismo de retroalimentación del sistema hipotalámico- hipofisario (Greene, 2016).

- Durante la reproducción, la deficiencia de selenio (Se), puede provocar periodos de silencio o bajo celo, bajas tasas de concepción, bajas tasas de fertilización y quistes ováricos (Gupta, 2021).
- El papel del yodo (I) en la función reproductiva puede explicarse por su necesidad para la síntesis de la hormona tiroidea. El desarrollo fetal con deficiencia de yodo puede detenerse en cualquier momento y puede provocar muerte embrionaria temprana, reabsorción fetal, aborto, muerte fetal o nacimiento de animales con bocio, pantorrillas débiles, y también puede estar asociado a prolongación del embarazo y retención de placenta (Bhalakiya, Haque, Patel, & Joshi, 2019).
- Una de las principales funciones del Cobalto (Co) es como componente de la vitamina B12. sin la síntesis de vitamina B12 dentro del rumen, la energía y el metabolismo de un carbono no son eficientes y pueden tener impactos perjudiciales en la salud y la producción del ganado vacuno de carne. Por otro lado, el mecanismo por el cual el Co actúa para mejorar el éxito reproductivo no está claro, aunque los datos actuales indican que el Co puede afectar el comportamiento ovárico y la embriogénesis (Van Emon, Sanford, & McCoski, 2020)
- Los estudios que utilizan protocolos de suplementación de Cu resaltan la necesidad de Cu para el éxito del embarazo, ya que está asociado con la función reproductiva normal. La asociación del cobre con la función lútea y el estado de embarazo indica que puede desempeñar un papel en la interacción entre el cuerpo lúteo y el endometrio alrededor del momento de la luteólisis (Van Emon, Sanford, & McCoski, 2020). De esta forma, su deficiencia es responsable de la muerte embrionaria temprana y la reabsorción del embrión, aumento de las posibilidades de retención/ necrosis de la placenta y baja fertilidad (Bhalakiya, Haque, Patel, & Joshi, 2019).
- El manganeso tiene varias funciones a lo largo de la producción de ganado, incluyendo durante la gestación. La deficiencia de manganeso está vinculada al celo silencioso, concepción reducida, abortos, peso reducido al nacer y un mayor porcentaje de terneros machos. También hay informes de que el Mn puede actuar directamente sobre el

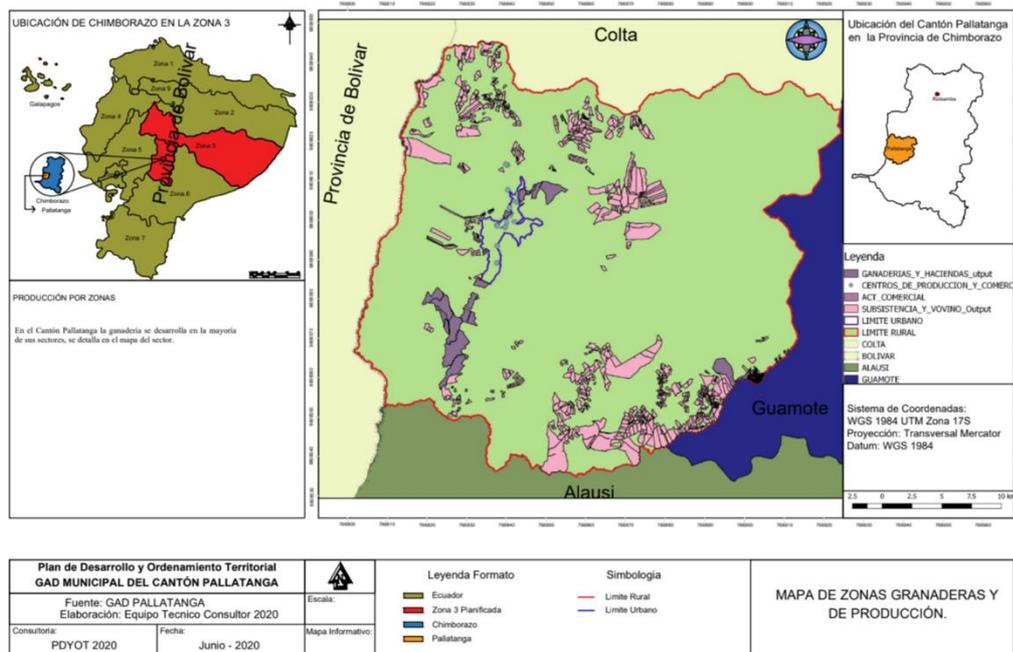
complejo cúmulo-ocito bovino para mejorar el ovocito y dar como resultado la viabilidad del embrión. (Van Emon, Sanford, & McCoski, 2020).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

Este trabajo se realizó en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, el cual resalta por su gran producción agropecuaria (Ver figura 3), con coordenadas X: 726504, Y: 9779785. Este territorio posee un clima definido por 2 tipos: Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo y Ecuatorial de Alta Montaña, su temperatura media es de 18,5°C mm (Paula et al., 2013). Por su ubicación geográfica (Ver figura 3) y condiciones meteorológicas presenta una gran variedad en su vegetación y cultivos (GAD PALLATANGA, 2023).

Figura 3. Mapa de ubicación, zonas ganaderas y de producción del cantón Pallatanga



Fuente: (GAD PALLATANGA, 2023).

5.2. Enfoque metodológico

En este trabajo se utilizó el método de investigación cualitativo y cuantitativo que permite recolectar datos enfocados en la comunicación de los procedimientos que se realizó.

5.2.1. Diseño de la investigación

Este estudio se basa en un estudio experimental con bloques al azar el cual nos permite analizar los parámetros evaluados. En cada bloque se consideró la edad y peso con una repetición.

5.2.2. Tamaño de la muestra y tipo de muestreo

En la presente investigación se utilizó un total de 30 vacas de raza Brown-Swiss distribuidas en tres grupos de 10 individuos cada uno con un rango de edad entre 40 a 50 meses de edad y pesos entre los 400 a 450 kg. Los semovientes en estudio se encuentran en intervalo mayor a los 100 días abiertos y su ordeño es realizado una vez por día con cría al pie. Los mismos se encontraban en pastoreo rotacional con pastos como brachiaria de cumbens, estrella y complementando con ensilajes de maíz y agua a voluntad.

5.2.3. Procedimientos y técnicas

Se tomó en cuenta los dos tratamientos y un grupo testigo o control para los cuales los procedimientos y técnicas a emplear serán descritos a continuación:

- Tratamiento 1. Seleccionadas las hembras, se realizó palpación rectal mediante ecografía (Ultrasonido S9 pro) (Ver Anexo. 1). De esta forma, se consiguió evaluar el estado reproductivo de los animales, ciclicidad y tamaño ovárico. Posterior a este chequeo se realizó la administración vía parenteral del mineral LIVAFOS SE 15 ml (dosis recomendada por el fabricante) por tres días consecutivos (ver Anexo. 2). Al día 8 de la administración del mineral se dio inicio al protocolo de sincronización evaluando el tamaño y la actividad ovárica. Pasados 8 días se realizó nuevamente la evaluación de la actividad ovárica y folicular. Finalmente, pasados 9 días previo a la presencia del celo se realizó la última evaluación tomando en cuenta los parámetros anteriormente descritos.
- Tratamiento 2. En este grupo se efectuó el mismo procedimiento administrando otro tipo de medicamento, como es el YODOCALCIO Mg, 15 ml por tres días consecutivos y se realizó igual medición en los tiempos establecidos (Ver anexo. 3).

- Tratamiento 0. Es el grupo control de las vacas, no se administró ningún medicamento, únicamente se evaluó ginecológicamente para detección de preñez esperando el día para la sincronización.

5.2.4. Variables de estudio

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Tipos de variables	Definición operacional	Indicadores o medida
Mineral Aplicado	Variable Independiente	Administración parenteral del mineral según la dosis recomendada. Se codificó de acuerdo al mineral seleccionado.	1= LIVAFOS SE 2= YODOCALCIO MG 3= No minerales
Dinámica folicular	Variable dependiente	Se tomó en cuenta el tamaño del folículo mayor, el cual fue medido mediante el uso del ecógrafo el mismo día de aplicación del protocolo de sincronización (Ver anexo. 4).	Milímetros(mm)
Tamaño cuerpo lúteo	Variable dependiente	Se valoró tamaño y presencia del cuerpo lúteo en el día 10 a 15 post-inseminación. Evaluación mediante ecografía.	Milímetros(mm)
Presencia de celo	Variable dependiente	Se observó la presencia de moco cervical, inflamación de la vulva, monta y se deja montar, intranquilidad e inapetencia (Ver anexo. 5).	Comportamiento del individuo 1= SI 0= NO

Fuente: autor

5.3. Procesamiento y análisis de la información

Los datos resultantes del estudio fueron recogidos, codificados y almacenados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, a través de la elaboración de una matriz (Ver anexo. 6). Posteriormente, este archivo facilitará la migración de información al paquete Estadístico para el Software de Científico Sociales SPSS. De esta forma, la estadística descriptiva, media, frecuencia, frecuencia porcentual (para datos nominales y ordinales) se aplicarán a las variables apropiadas. Además, se utilizará la prueba paramétrica ANOVA y Test de Tukey para comparación entre grupos.

5.4. Consideraciones éticas

Esta investigación se basó en los principios bioéticos de autonomía, justicia, beneficencia y confidencialidad. Por tanto, se ejecutó con la seriedad y respeto que merecen los animales de estudio, así como sus respectivos propietarios. Durante el proceso no se ejerció ningún daño o alteración de los animales, obteniendo datos únicamente con fines investigativos. Además, se declara no tener conflicto de interés ni relación económica, comercial, personal con casas comerciales y productos utilizados. Los animales fueron tratados conforme a las normativas para el cuidado y la utilización de animales en investigaciones según lo establecido en el Código Orgánico del Ambiente (ROS N° 983, Ecuador).

6. Resultados

6.1. Caracterización del grupo de estudio

La presente investigación estudió el comportamiento de 30 vacas de raza Brown-Swiss distribuidas en tres grupos de 10 individuos. El 43,33% presentan una edad de 3 años mientras que el 56,67% 4 años (ver figura 4). Además, el 100% de las especies bovinas presentan una condición corporal buena de 3,5 (ver figura 5).

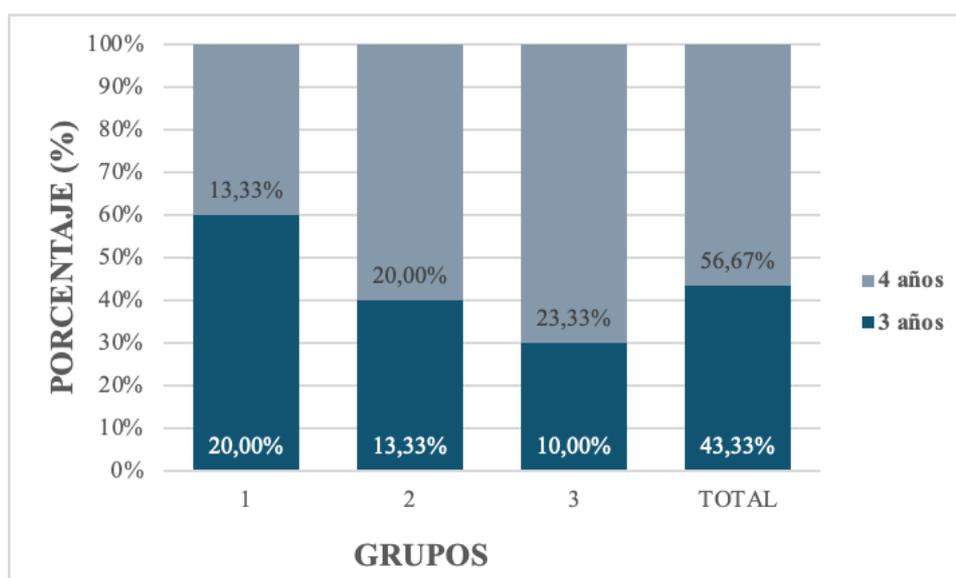
Tabla 2. Caracterización del grupo de estudio según la edad

Tratamiento	EDAD				TOTAL	
	3 años		4 años		N	(%)
	N	(%)	N	(%)		
1	6	20,00	4	13,33	10	33,33
2	4	13,33	6	20,00	10	33,33
3	3	10,00	7	23,33	10	33,33
TOTAL	13	43,33	17	56,67	30	100,00

* Tratamiento 1 (Livafos SE 15 ml), Tratamiento 2 (Yodocalcio MG 15 ml), Tratamiento 3 (Control)

Realizado por: Autor

Figura 4. Caracterización del grupo de estudio según la edad



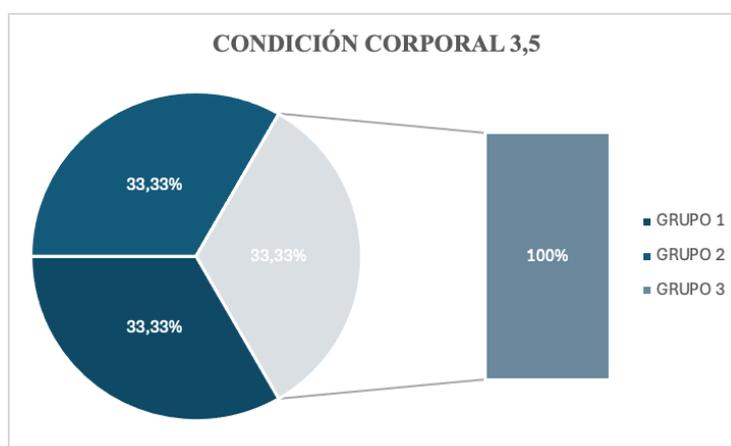
Realizado por: Autor

Tabla 3. Caracterización del grupo de estudio según la condición corporal

Tratamiento	Condición Corporal 3,5	
	N	(%)
1	10	33,33
2	10	33,33
3	10	33,33
TOTAL	30	100,00

* Tratamiento 1 (Livafos SE 15 ml), Tratamiento 2 (Yodocalcio MG 15 ml), Tratamiento 3 (Control)

Realizado por: Autor

Figura 5. Caracterización del grupo de estudio según la condición corporal

Realizado por: Autor

6.2. Dinámica folicular

Tanto en el grupo 1, 2 y 3 el promedio en milímetros de diámetro folicular aumentó en el intervalo de día 0, 8 y 16, presentando una mejor dinámica el tratamiento uno (ver tabla 4 y figura 6).

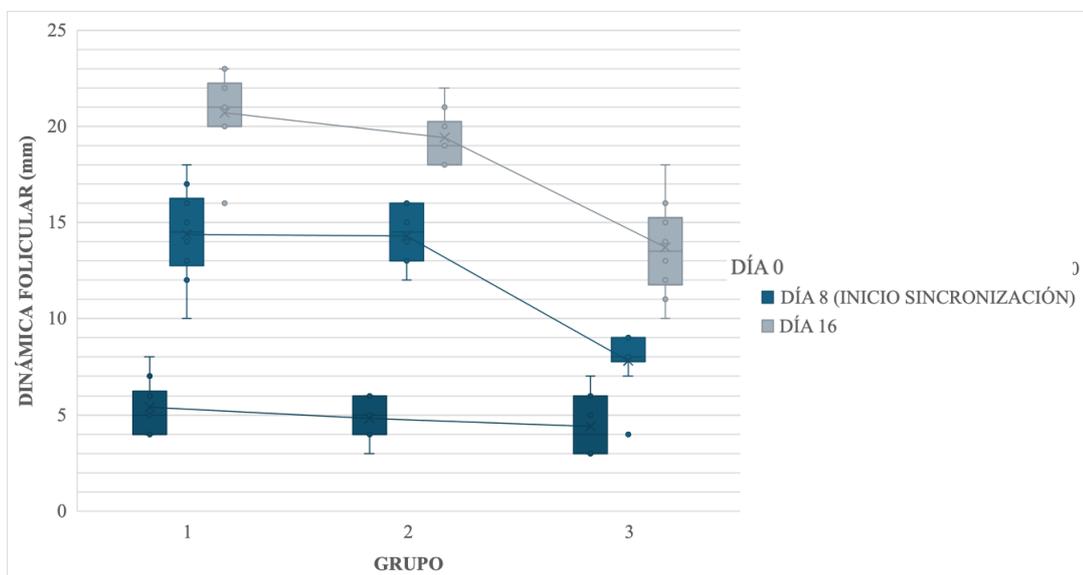
Tabla 4. Promedio de la dinámica folicular (mm) en respuesta al uso de minerales.

Tratamiento	PROMEDIO DINÁMICA FOLICULAR (mm)		
	DÍA 0	DÍA 8 (INICIO SINCROZACIÓN)	DÍA 16
1	5,4	14,4	20,7
2	4,8	14,3	19,4
3	4,4	7,8	13,7

* Tratamiento 1 (Livafos SE 15 ml), Tratamiento 2 (Yodocalcio MG 15 ml), Tratamiento 3 (Control)

Realizado por: Autor

Figura 6. Dinámica folicular por grupo de estudio



Realizado por: Autor

6.3. Tamaño de cuerpo lúteo

El tamaño del cuerpo lúteo en el día 16, presentó entre 1 y 2 mm, como indicador potencial de fertilidad en las hembras bovinas, el tratamiento dos registra el mayor número de vacas con 2 mm (ver tabla 5). En promedio el tamaño del cuerpo lúteo fue de 1,8 mm para el tratamiento uno; 1,9 mm para los tratamientos dos y 1,1 mm para el grupo tres (ver figura 7).

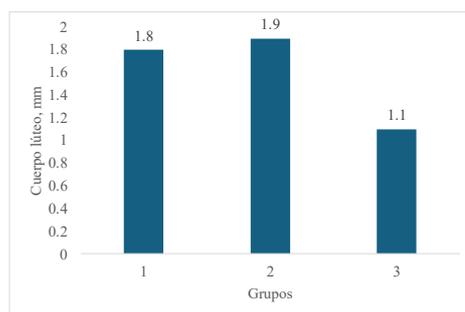
Tabla 5. Tamaño de cuerpo lúteo (mm) en respuesta al uso de minerales

Tamaño de cuerpo lúteo	Tratamiento						TOTAL	
	1		2		3		N	(%)
1 mm	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
1 mm	2	6,67	1	3,33	9	30,00	12	40,00
2 mm	8	26,67	9	30,00	1	3,33	18	60,00
TOTAL	10	33,33	10	33,33	10	33,33	30	100,00

* Tratamiento 1 (Livafos SE 15 ml), Tratamiento 2 (Yodocalcio MG 15 ml), Tratamiento 3 (Control)

Realizado por: Autor

Figura 7. Promedio tamaño de cuerpo lúteo por grupo



Realizado por: Autor

6.4. Presencia de celo

En el grupo 1, 2 y 3 el porcentaje de vacas que expresaron celo fue del 90%, 80% y 30% respectivamente (ver figura 8). Mientras que el 10% del grupo uno, 20% del grupo dos y 70% del grupo tres no expresaron este comportamiento (ver tabla 6).

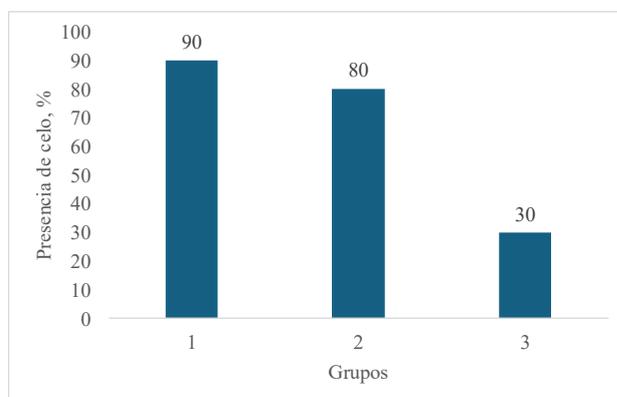
Tabla 6. Expresión de celo en (%) en respuesta al uso de minerales

Presencia de celo	Tratamiento						TOTAL	
	1		2		3		N	(%)
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
Si	9	90,00	8	80,00	3	30,00	20	66,67
No	1	10,00	2	20,00	7	70,00	10	33,33
TOTAL	10	100,00	10	100,00	10	100,00	30	100,00

* Tratamiento 1 (Livafof SE 15 ml), Tratamiento 2 (Yodocalcio MG 15 ml), Tratamiento3 (Control)

Realizado por: Autor

Figura 8. Expresión de celo (%) por grupo



Realizado por: Autor

6.5. Comparación entre grupos

Dinámica folicular. - En el día 0, no se observaron diferencias significativas en el tamaño de los folículos entre los grupos evaluados. Sin embargo, en el día 8 y 16, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el tamaño de los folículos entre los grupos de tratamiento (grupos 1 y 2) y el grupo control (grupo 3). Estos resultados se detallan en la (Tabla 7).

Tamaño del cuerpo lúteo. - El análisis del tamaño del cuerpo lúteo reveló diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los grupos de tratamiento (grupos 1 y 2) y el grupo control (grupo 3). No se encontraron diferencias significativas en el tamaño del cuerpo lúteo al comparar los dos grupos de tratamiento entre sí. Estos hallazgos se presentan en la Tabla 7.

Expresión de celo. - La evaluación de la expresión de celo mostró diferencias significativas ($p = 0,0067$) entre los grupos de tratamiento (1 y 2) y el grupo del tratamiento 3. No se observaron diferencias significativas en la expresión de celo al comparar los dos grupos (1 y 2) entre sí. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Balance de la dinámica folicular(mm) entre grupos de estudio.

Variables	Tratamiento			E.E.	Prob.	Sig.
	1	2	3			
Dinámica Folicular día 0, mm	5,4 a	4,8 a	4,4 a	0,42	0.2608	ns
Dinámica Folicular día 8, mm	14,4 a	14,3 a	7,8 b	0,59	<0,0001	**
Dinámica Folicular día 16, mm	20,7 a	19,4 a	13,7 b	0,62	<0,0001	**
Cuerpo lúteo, mm	1,8 a	1,9 a	1,1 b	0,11	<0,0001	**
Presencia de celo, %	90 a	80 a	30 b	0,13	0,0067	**

* E.E.= error estándar, Prob.=probabilidad, Sig.= significancia estadística

* Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Autor

7. Discusión

La producción bovina en el cantón Pallatanga, al igual que en muchas otras regiones, enfrenta desafíos para optimizar la eficiencia reproductiva. Factores como el manejo y la nutrición juegan un papel crucial en el éxito de los programas de cría (Lakshmikantan, y otros, 2023). En este contexto, el éxito de los protocolos de sincronización de celo, como herramientas biotecnológicas, están intrínsecamente ligados a la condición nutricional de los animales (Gupta, 2021; Utrilla, y otros, 2024).

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan información importante sobre la eficiencia de la administración de minerales previo a la aplicación de un protocolo de sincronización de celo en vacas Brown Swiss en el cantón Pallatanga. La ausencia de diferencias estadísticas en el tamaño de los folículos en el día 0 entre los grupos evaluados sugiere que, al inicio del estudio, las vacas se encontraban en un estado fisiológico similar en su actividad ovárica. Sin embargo, las diferencias significativas encontradas en los días 8 y 16 entre los grupos de tratamiento y el grupo control indican que la administración de minerales pudo haber incidido positivamente en el desarrollo folicular de las vacas tratadas. Esta investigación es similar a los resultados de Minion et.al. (2023) en el que se explica el papel de los minerales en la función ovárica y la producción de hormonas esteroides, como el estradiol, que es fundamental para el crecimiento folicular.

Las diferencias significativas registradas en el tamaño del cuerpo lúteo entre los grupos de tratamiento y el grupo control indicarían que la administración de minerales tendría un efecto positivo en la formación y función del cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo es esencial para la producción de progesterona, hormona que juega un papel crucial en el mantenimiento de la gestación (Vejarano, 2021). Un cuerpo lúteo de mayor tamaño podría indicar una mayor producción de progesterona, lo que podría favorecer la implantación y el desarrollo embrionario en caso de que la vaca quede preñada (Tariq, 2022). Estos resultados son similares con los expuestos por (Del Río-Avilés et al., 2022) en el que la suplementación mineral vía parenteral en 8 vacas Holstein estresadas por calor tendió a aumentar el diámetro del cuerpo lúteo ($p < 0,10$), y mejoró las concentraciones séricas de estrógeno y progesterona ($p < 0,01$), así como la tasa de concepción ($p < 0,05$) de las vacas.

Finalmente, la administración de minerales también parece haber tenido un efecto positivo en la expresión de celo de las vacas, como lo demuestran las diferencias significativas encontradas entre los grupos de tratamiento y el grupo control. Este descubrimiento es relevante, ya que la expresión de celo es un indicador clave de la receptividad de la vaca a la monta y esencial para el éxito de la inseminación artificial. Resultados similares fueron observados por (Jumbo, 2020), quien reportó un 84% de expresión de celo en animales suplementados con minerales vía parenteral.

8. Conclusiones

La administración parenteral de minerales en vacas Brown-Swiss previo a la sincronización de celo e inseminación, determino un efecto positivo en la actividad ovárica. Influyo en el desarrollo folicular y del cuerpo lúteo que significativamente mayor en los tratamientos uno y dos, en comparación con el tratamiento control.

En la dinámica folicular previo a la inseminación, el tratamiento uno presento el mayor diámetro de folículo. Este resultado indica que la administración de minerales mejoró la dinámica folicular que incide directamente en un protocolo de sincronización de celos, que podría traducirse en una mayor tasa de ovulación y, por lo tanto, en una mayor probabilidad de concepción.

EL tratamiento dos presentó el mayor tamaño de cuerpo lúteo, presento diferencias estadísticas ($p \leq 0,01$) con el tratamiento tres (control), que registro el menor tamaño. El cuerpo lúteo de mayor tamaño sugiere una mayor producción de progesterona, hormona esencial para el mantenimiento de la gestación. Esta respuesta está relacionada a la suplementación mineral, que contribuiría a mejorar la fertilidad y reducir las pérdidas gestacionales tempranas.

9. Recomendaciones

En función de los resultados, se recomienda:

Implementar la administración parenteral de minerales como una práctica estratégica en los programas de reproducción de ganado Brown-Swiss en el cantón Pallatanga y explotaciones ganaderas de la región.

Realizar estudios comparativos con diferentes protocolos de sincronización de celo y diferentes dosis de minerales para determinar la estrategia más efectiva para mejorar la eficiencia reproductiva en esta raza. Además, investigaciones futuras de forma longitudinal, considerando múltiples ciclos reproductivos, podrían ayudar a determinar la dosis adecuada de minerales, el momento ideal de administración y la frecuencia necesaria para obtener los mejores resultados.

10. Bibliografía

1. Baruselli, P. S., Abreu, L. A., Menchaca, A., & Bó, G. A. (2025). The future of beef production in South America. *Theriogenology*, 231, 21–28.
2. Besenfelder, U., Brem, G., & Havlicek, V. (2020). Review: Environmental impact on early embryonic development in the bovine species. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 14(S1), s103–s112.
3. Bhalakiya, N., Haque, N., Patel, P., & Joshi, P. (2019). Role of trace minerals in animal production and reproduction. *International Journal of Livestock Research*, 9(9), 1-12.
4. Bishop, C. V., Selvaraj, V., Townson, D. H., Pate, J. L., & Wiltbank, M. C. (2022). History, insights, and future perspectives on studies into luteal function in cattle. *Journal of animal science*, 100(7), skac143.
5. Bo, G. A. (2003). Principios generales sobre la sincronización de la ovulación en el ganado ovino. *Bovis*, 115, 9-20.
6. Carrillo-González, D. F. (2021). Principios básicos de la reproducción e inseminación artificial en bovinos. *inseminación artificial y liderazgo rural (Vol. 1era ed)*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
7. Carvajal, A., Martínez, E., Tapia, M., & Ayke, I. T. (2020). El ciclo estral en la hembra bovina y su importancia productiva. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 246, 1-4.
8. Coelho, S. D., & de Moraes, C. R. (2023). PRÉ-SINCRONIZAÇÃO DE VACAS DE CORTE EM PROTOCOLOS DE IATF: UMA BREVE REVISÃO CIENTÍFICA. *Revista GeTeC*, 12(42).
9. Córdoba Martínez, D. J., & García Burbano, J. I. (2006). Evaluación de la dinámica folicular con el uso de minerales antioxidantes, en ganado Bos Indicus, en el corregimiento de Santa María municipio de Buesaco. Santa María.
10. Corea Urbina, A. F., & Hernández Amador, N. R. (2007). Inducción del celo en vacas en anestro post parto mediante la administracion de sales minerales, vitaminas y masajes ovaricos. Municipio de Rio Blanco, (Do, Departamento de Matagalpa: Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA.
11. De Rensis, F., Dall'Olio, E., Gnemmi, G. M., Tummaruk, P., Andrani, M., & Saleri, R. (2024). Interval from Oestrus to Ovulation in Dairy Cows-A Key Factor for Insemination Time: A Review. *Veterinary sciences*, 11(4), 152.

12. Del Río-Avilés, A. D., Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Thomas, M. G., Enns, R. M., & Luna-Nevárez, P. (2022). Mineral supplementation (injectable) improved reproductive performance in Holstein cows managed in a warm summer environment. *Reproduction in Domestic Animals*, 57(8), 839-848.
13. El-Hamd, M. A., Metwally, A. E., Bassiouni, M. I., Hegazy, M. M., El-Gendy, M. A., & El-Magd, M. A. (2023). Organic trace minerals improved the productive and reproductive performance of friesian cows better than inorganic minerals. *Pakistan Journal of Zoology*, 1-8.
14. Gupta, P. K. (2021). Minerals play role in reproduction of animals and their deficiency diseases in animals: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(2), 534-536.
15. Lakshmikantan, U., Selvaraju, M., Palanisamy, M., Selvaraj, P., Vasanthakumar, P., & Mathivanan, R. (2023). Changes in mineral profiles in progesterone-based estrus induction protocols and their relationship with the phases of estrous cycle in kangayam cows. *Indian Journal of Animal Research*, 57(12), 1606-1612.
16. Mercadante, V. R., & Lamb, G. C. (2024). Implementing Fixed-Time Artificial Insemination Programs in Beef Herds. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 40(141-156).
17. Mion, B., Madureira, G., Spricigo, J. F., King, K., Van Winters, B., LaMarre, J., & ...Ribeiro, E. S. (2023). Effects of source of supplementary trace minerals in pre-and postpartum diets on reproductive biology and performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 5074-5095.
18. Morales Muñoz, P. (2021). *Anatomía comparada y aplicada de bovinos y equinos: (ed.)*. Santiago de Chile: RIL editores.
19. Moreno Forero, M. F. (2023). Protocolos de sincronización de celo en la especie bovina: artículo de revisión. Universidad de Cundinamarca.
20. Nebel, R., & DeJarnette, M. (2011). *Anatomía y fisiología de la reproducción bovina*. SELECT SIRES INC, 6.
21. Tariq, M. C. (2022). Effect of supplementation of minerals on the productive and reproductive performance of lactating cattle and buffalo. *Pakistan Journal of Science*, 74(4).
22. Utrilla, M. J., Collantes, R. P., Pesquera, L. C., Marroig, A. M., Tanarro, A. P., & San Román, L. R. (2024). Sincronización del celo: el secreto de la ganadería eficiente, ventajas y desafíos (Vol. 153). *Ganadería*.

23. Van Emon, M., Sanford, C., & McCoski, S. (2020). Impacts of bovine trace mineral supplementation on maternal and offspring production and health. *Animals*, 10(12), 2404.
24. Vedovatto, M., Moriel, P., Cooke, R. F., Costa, D. S., Faria, F. J., Neto, I. M., & ... Franco, G. L. (2019). Effects of a single trace mineral injection on body parameters, ovarian structures, pregnancy rate and components of the innate immune system of grazing Nellore cows synchronized to a fixed-time AI protocol. *Livestock Science*, 225, 123-128.
25. Vejarano, A. &. (2021). Grado de desarrollo del folículo preovulatorio y su relación con el tamaño del cuerpo lúteo y la producción de progesterona en las razas Romosinuano (RS) y Brahman (Br). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(1), 52-65.

11. Anexos

Anexo 1. Chequeo ginecológico mediante ecografía



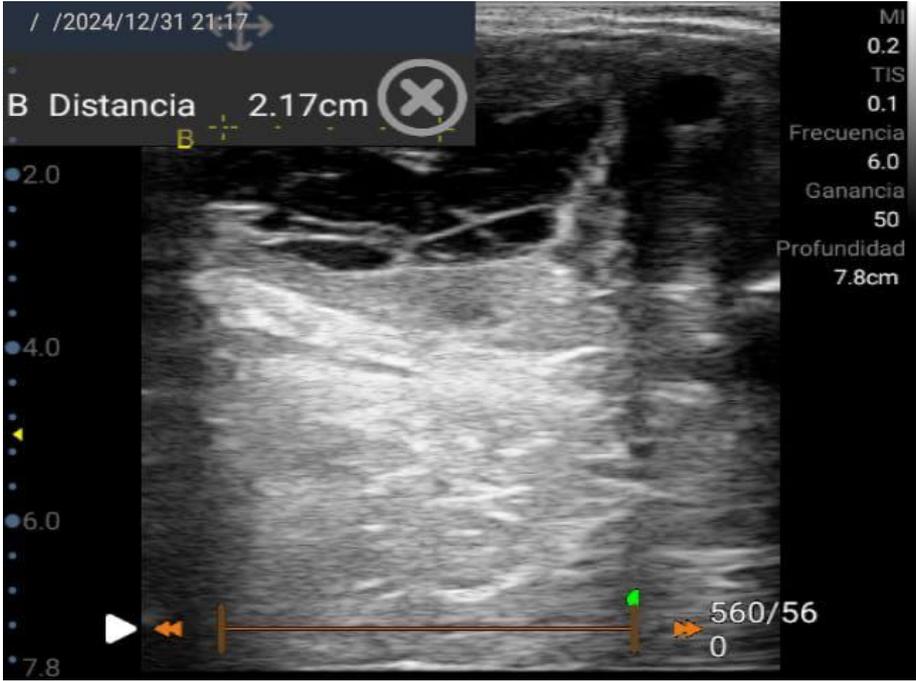
Anexo 2. Administración parenteral de LIVAFOS SE



Anexo 3. Administración parenteral de YODOCALCIO MG



Anexo 4. Medición del diámetro folicular día 16 mediante ecografía.



Anexo 5. Presencia de celo en bovino hembra



Anexo 6: Matriz de datos en Microsoft Excel

GRUPO	IDENTIFICACIÓN	CC	EDAD	OVARIO IZQUIERDO	OVARIO DERECHO	DINÁMICA FOLICULAR			TAMAÑO CUERPO LÚTEO	PRESENCIA DE CELO
						mm				
						(mm)	(mm)	(mm)		
1	5254	3,5	3	12	23	8	12	20	1	1
1	5245	3,5	3	10	22	5	13	21	2	1
1	5236	3,5	4	13	20	6	14	21	2	1
1	5239	3,5	4	10	21	5	16	23	2	1
1	5240	3,5	3	10	20	5	16	20	2	1
1	5246	3,5	4	18	10	6	10	16	1	0
1	5250	3,5	4	20	12	7	13	20	2	1
1	5255	3,5	3	11	20	4	15	22	2	1
1	5249	3,5	3	14	22	4	17	21	2	1
1	5248	3,5	3	10	21	4	18	23	2	1
2	ROSA	3,5	4	12	22	5	13	18	2	1
2	MOCHA	3,5	4	10	20	4	12	19	2	1
2	MIRAFLORES	3,5	4	12	20	5	14	18	2	1
2	CACHO FINO	3,5	3	18	10	6	13	20	2	0
2	NACHA	3,5	4	14	19	6	15	20	2	0
2	PIERNA BLANCA	3,5	4	11	19	4	16	18	1	1
2	PEPEA	3,5	4	22	12	6	16	19	2	1
2	MARISOL	3,5	3	12	21	3	13	19	2	1
2	JESSICA	3,5	3	10	24	5	15	21	2	1
2	BABY CHIQUI	3,5	3	12	20	4	16	22	2	1
3	3522	3,5	4	20	10	3	9	13	1	0

3	3543	3,5	4	12	18	6	4	14	1	0
3	3518	3,5	3	10	18	3	9	15	1	0
3	3521	3,5	4	24	11	6	8	18	2	1
3	3517	3,5	4	18	11	3	8	13	1	0
3	3528	3,5	4	22	10	7	8	15	1	1
3	3529	3,5	3	19	12	3	9	12	1	0
3	3525	3,5	3	18	10	3	8	11	1	0
3	3535	3,5	4	22	11	5	7	16	1	1
3	3538	3,5	4	10	18	5	8	10	1	0

* GRUPO 1 (LIVAFOS SE 15 ml), GRUPO 2 (YODOCALCIO MG 15 ml), GRUPO 3 (CONTROL)

** Para el estudio de la dinamica folicular se tomo en cuenta el ovario de mayor tamaño.

Anexo 7: Certificado de traducción del Abstract

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Lucía de los Ángeles Chacón Reina, licenciada en Lingüística aplicada al idioma Inglés, con número de registro profesional 1079-15-1432902, certifico que he traducido fielmente del idioma español al inglés el resumen del trabajo de titulación: "Eficiencia en la administración de minerales previo a la utilización de un protocolo de sincronización de celo en vacas Brown- Swiss en el cantón Pallatanga".

Dicho resumen/abstract consta de 353 palabras y corresponde a un proyecto de investigación elaborado por el Dr. Luis Aníbal Chávez Gaguancela.

La traducción adjunta es, a mi leal saber y entender, una representación precisa y completa del contenido del resumen original en español.

06 de febrero del 2025

Atentamente,



Lic. Lucía de los Ángeles Chacón Reina

CC. 1709571754

Registro Senescyt. 1079-15-1432902