

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
ESCUELA DE ZOOTECNIA

Efecto de la suplementación mineral sobre el desarrollo ovárico y fertilidad en novillas

*Bos taurus* x *Bos indicus*

Gustavo Ruiz Sánchez

Tesis presentada para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería  
Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2016

## TRIBUNAL

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

<hr/> <p>M.Sc. Carlos Arroyo Oquendo</p>	Director de Escuela de Zootecnia Director de tesis
<hr/> <p>MBA. Juan Ignacio Herrera Muñoz</p>	Miembro del tribunal
<hr/> <p>M.Sc. Róger Molina Coto</p>	Miembro del tribunal
<hr/> <p>M.Sc. Fabio Blanco Rojas</p>	Miembro del tribunal
<hr/> <p>Lic. Melissa Alvarado Solano</p>	Miembro del tribunal
<hr/> <p>Bach. Gustavo Ruiz Sánchez</p>	Sustentante

## **DEDICATORIA**

A Dios, por dame la capacidad, la fortaleza y las condiciones necesarias para realizar este trabajo.

A la memoria de mi madre, que es luz en mi vida.

A mi familia, por ser un apoyo incondicional siempre.

A todo aquel que lucha contra lo que sea por hacer los sueños realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por todas las bendiciones otorgadas.

A papi y a Sandra, por su apoyo y buenas intenciones.

A mis hermanos Meli, Ana, Andrés, Rebe, Li y Fabi por sus consejos y apoyo infinito.

A mis tías Rita, Xinia y Rosario por estar siempre presentes en mi vida.

A mis abuelos Juan y Adilia y mis primos Ericka, Juan y Jorge por su apoyo y cariño.

A don Carlos Arroyo, por su apoyo desinteresado, por ser mi guía durante toda la carrera de Zootecnia y por ser un gran amigo.

A Juan Ignacio Herrera, por su apoyo y amistad durante el desarrollo de esta tesis.

A los muchachos que laboran en la Unidad de Reproducción Animal de la UCR, por su apoyo, enseñanzas y por hacer del trabajo una experiencia agradable.

A Daniel Carballo, por su participación desinteresada en la recolección de datos de esta investigación y por enseñarme un poco de su conocimiento en las labores realizadas.

A don Fabio Blanco, por su guía y apoyo en la parte estadística del trabajo.

A los profesores Róger Molina, Catalina Salas y Alejandro Saborío, por su participación en las revisiones y en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos de carrera (John, Meli, Pao, Wicho, Rolo, Sol, Mari, Eka, Burgos, Alejandro, Joyce, Adrián, Andrea y Marcel) por hacer de esta una experiencia única e inigualable.

A mi amiga y colega Melissa Alvarado, por su amistad sincera y por siempre motivarme a seguir adelante.

A Kathy, Larissa y Fernanda por su amistad desinteresada y por animarme durante todo el proceso de mis estudios.

A los profesores de la escuela de Zootecnia, por sus enseñanzas y apoyo durante todo este tiempo.

A doña Shirley Vargas, por su apoyo desde mi primer día como estudiante en la escuela de Zootecnia.

A Agueda Serrano, por sus consejos, ayuda y amistad durante todo este tiempo.

A Bayer de Costa Rica y a la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación, por financiar este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
	TRIBUNAL	ii
	DEDICATORIA	iii
	AGRADECIMIENTOS	iv
	ÍNDICE GENERAL	v
	ÍNDICE DE CUADROS	viii
	ÍNDICE DE FIGURAS	xi
	LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
	RESUMEN	xiv
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	General	3
2.2	Específicos	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1	Generalidades del sistema reproductor de las hembras bovinas	4
3.1.1	Vulva	4
3.1.2	Vagina	5
3.1.3	Cérvix	5
3.1.4	Útero	5
3.1.5	Oviducto	6
3.1.6	Ovario	6
3.1.7	Estructuras ováricas	7
3.2	Pubertad en las hembras bovinas	8
3.3	Ciclo estral de las hembras bovinas	9
3.4	Importancia de la reproducción en sistemas de producción bovina	11
3.5	Los minerales en la dieta de los bovinos	12
3.6	Minerales utilizados en la suplementación de bovinos	15
3.6.1	Calcio	15
3.6.2	Fósforo	15
3.6.3	Magnesio	16

3.6.4	Azufre	17
3.6.5	Selenio	17
3.6.6	Yodo	18
3.6.7	Potasio	18
3.6.8	Zinc	18
3.6.9	Cobre	19
3.7	Requerimientos de minerales en ganado bovino	20
3.8	Los minerales y la reproducción bovina	21
3.9	Métodos de suplementación mineral en sistemas ganaderos	22
3.1	Estudios realizados de suplementación mineral en bovinos	23
4	PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA	28
4.1	Generalidades de manejo	28
4.2	Tratamientos	32
4.3	Diseño experimental	34
4.4	Obtención de información de las variables medidas	34
4.5	Análisis estadístico	35
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1	Análisis de los animales en los que se evaluó la suplementación mineral inyectada.	38
5.1.1	Desarrollo de ovarios de los animales sometidos a tratamientos parenterales.	38
5.1.2	Estructuras ováricas de los animales sometidos a tratamientos parenterales	46
5.1.3	Pubertad de los animales pertenecientes a los diferentes grupos de tratamientos parenterales	48
5.1.4	Preñez de los animales sometidos a tratamientos parenterales	50
5.2	Análisis de los animales en los que se evaluó la suplementación mineral oral.	52
5.2.1	Desarrollo de los ovarios en animales sometidos a tratamientos orales	52
5.2.2	Estructuras ováricas de los animales sometidos a tratamientos orales	58
5.2.3	Edad de pubertad de los animales pertenecientes a los diferentes grupos de tratamientos orales	60
5.2.4	Preñez de los animales sometidos a tratamientos orales	62

5.3	Relación de las variables medidas en todas las novillas con la preñez	63
6	CONCLUSIONES	65
7	RECOMENDACIONES	66
8	LITERATURA CITADA	67
9	ANEXOS	75

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Requerimientos aproximados de minerales sugeridos para ganado bovino en sistemas de producción de carne.	20
2	Cantidades diarias de los componentes de la dieta suministrada a las novillas en las etapas de desarrollo 1 y desarrollo 2.	29
3	Composición nutricional de los nutrientes de la dieta utilizada en las novillas	30
4	Balance nutricional de macrominerales (% de MS de la dieta) y microminerales (mg/kg MS) según la dieta suministrada a las novillas.	31
5	Descripción de protocolo aplicado a cada una de las novillas para la sincronización de celo.	32
6	Descripción de los tratamientos aplicados a las novillas.	33
7	Fuentes de variación y grados de libertad del análisis de varianza de los datos de los tratamientos parenterales (los grados de libertad cambian en el análisis).	36
8	Medias $\pm$ errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones ováricas obtenidas en la última evaluación (edad aproximada 18 meses) de las novillas (n=11 o 12) sometidas a tratamientos parenterales.	45
9	Medias de ancho y largo (cm) de cuerpos lúteos, para los animales sometidos a los tratamientos parenterales (n=11 o 12), error estándar estimado y significancia estadística (valor de P).	46



10	Medias $\pm$ errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones de los cuerpos lúteos obtenidas en la última evaluación de las novillas (edad promedio 18 meses) sometidas a tratamientos parenterales (n= 11 o 12).	47
11	Medias $\pm$ errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios observados en las novillas sometidas a tratamientos parenterales (n= 11 o 12).	48
12	Medias $\pm$ errores estándar estimado (meses) y significancia estadística (valor de P) de la edad en meses a la cual las novillas de los diferentes tratamientos parenterales mostraron la pubertad (n= 11 o 12).	49
13	Porcentajes de preñez y significancia estadística (valor de P) obtenidos en el primer y segundo diagnóstico de preñez realizada en los grupos de animales que recibieron tratamiento parenteral (n= 11 o 12).	51
14	Medias $\pm$ errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones ováricas obtenidas en la última evaluación (edad promedio 18 meses) de las novillas (n= 5 o 6) sometidas a tratamientos orales.	57
15	Medias de ancho y largo (cm) de cuerpos lúteos, para los animales sometidos a los tratamientos orales (n= 5 o 6), errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P).	58
16	Medias $\pm$ errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones de los cuerpos lúteos obtenidas en la última evaluación de las novillas (edad promedio 18 meses) sometidas a tratamientos orales (n= 5 o 6).	59
17	Medias $\pm$ errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios, observados en las novillas sometidas a tratamientos orales (n= 5 o 6).	60

18	Medias $\pm$ errores estándar estimado (meses) y significancia estadística (valor de P) de la edad en meses a la cual las novillas de los diferentes tratamientos parenterales mostraron la pubertad (n= 5 o 6).	61
19	Porcentajes de preñez obtenidos en el primer y segundo diagnóstico realizado en los grupos de animales que recibieron oral (n=5)	62
20	Medias de la edad a la cual las novillas preñadas (n=31) y no preñadas (n=8) de todos los tratamientos presentaron la pubertad, error estándar estimado y significancia estadística (valor de P).	63
21	Medias $\pm$ errores estándar y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios que presentaron todas las novillas del estudio.	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de ancho del ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	39
2	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de largo del ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	40
3	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de ancho del ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	41
4	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de largo del ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	42
5	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de tamaño del ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	43
6	Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de tamaño de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).	44
7	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de ancho de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	52
8	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de largo de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	53
9	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de ancho de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	54

10	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de largo de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	55
11	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de tamaño de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	56
12	Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de tamaño de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).	56

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
ACLOD	Ancho del cuerpo lúteo en ovario derecho
ACLOI	Ancho del cuerpo lúteo en ovario izquierdo
AOD	Ancho del ovario derecho
AOI	Ancho del ovario izquierdo
BR	Banano verde de rechazo
CAT	Tratamiento inyectado, 1 ml/20kg de peso vivo del producto "CAT"
CL	Cuerpo lúteo
CLF	Tratamiento inyectado, 1 ml/20kg de peso vivo del producto "CLF"
CM	Cáscara de banano maduro
CON	Tratamiento del grupo control: consumo de NaCl a libre consumo
DA	Días abiertos
D1	Alimento balanceado utilizado en etapa de desarrollo 1
D2	Alimento balanceado utilizado en etapa de desarrollo 2
EP	Edad a la pubertad
EPP	Edad al primer parto
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropinas
IA	Inseminación artificial
IATF	inseminación artificial al tiempo fijo
IEP	Intervalo entre partos
IM	Inyección intramuscular
IPP	Inseminación post parto
LCLOD	Largo del cuerpo lúteo en ovario derecho
LCLOI	Largo del cuerpo lúteo en ovario izquierdo
LOD	Largo de ovario derecho
LOI	Largo de ovario izquierdo
PP	Pasto king gras picado a los 60 días de edad
SAL	Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo
SM	mezcla 50:50 de sal blanca y Pecutrín® vitaminado
TCLOD	Tamaño del cuerpo lúteo en ovario derecho
TCLOI	Tamaño del cuerpo lúteo en ovario izquierdo
TOD	Tamaño de ovario derecho
TOI	Tamaño de ovario izquierdo

## RESUMEN

Se realizó una investigación para medir la efectividad de suplementos minerales (inyectables y orales) y su relación con el desarrollo ovárico y la fertilidad en novillas. Dicha investigación se llevó a cabo de mayo 2014 a junio 2015 en la Finca de Producción Animal de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica ubicada en Guápiles, Pococí, Limón.

El estudio incluyó 42 novillas (mezcla de *Bos taurus* x *Bos indicus*) adquiridas con una edad promedio de 8 meses y un peso aproximado de 180 kg. Todas las novillas permanecieron bajo las mismas condiciones de manejo y alimentación. Se clasificaron en 6 grupos de 4 y 6 animales. De cada uno de los grupos de 4, se seleccionó una novilla al azar, la cual conformó el grupo control "CON" (consumieron Sal blanca (NaCl) a libre consumo y recibieron mensualmente solución salina IM). Una vez realizada la selección del grupo control, se contó con 12 grupos restantes con 3 novillas cada uno, y a cada una de cada grupo, se le asignó alguno de los siguientes tratamientos: SAL (consumo de mezcla de NaCl 50% y suplemento mineral oral (Pecutrín vitaminado® 50%) más la aplicación mensual de solución salina IM); CAT (SAL + 1 ml por cada 20 kg de peso vivo de solución IM de CAT, cada ml de CAT contiene: 100 mg de ácido 1-(N-butilamino)-1-metiletil-fosfónico Butafosbán, 0,05 mg de vitamina B12 y excipientes, cada ml contiene 0,0173 g de fósforo); CLF (SAL + 1 ml por cada 20 kg de peso vivo de solución IM de CLF, cada ml de CFL contiene 100 mg de fosforilcolamina (equivalente al ión fósforo 22 mg), 8,20 mg de sulfato de zinc (equivalente al ión zinc 3 mg), 20 mg de yoduro de potasio (equivalente al ión yodo 15 mg), 0,34 mg de selenito de sodio (equivalente al ión selenio 0,10 mg) y 1 ml de excipiente c.s.p) al azar.

A partir de 12 meses de edad, a las novillas se les realizó ultrasonografías mensuales para medir ancho y largo de ambos ovarios, se calculó también el tamaño de los ovarios por medio de un promedio entre el ancho y el largo. También se evaluaron los folículos y cuerpos lúteos (CL) presentes. Los CL se midieron en el ancho y el largo, mientras que los folículos se clasificaron en pequeños (diámetro  $\leq 10$  mm) y grandes (diámetro  $> 10$  mm). Se aplicó un protocolo de sincronización de celo para realizar inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Se realizó el diagnóstico de preñez por medio de ecografía 35 días después de la IATF. Las vacas que resultaron vacías se sometieron nuevamente al proceso de sincronización, IATF y diagnóstico bajo las mismas condiciones indicadas anteriormente.

No se encontró diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) para el desarrollo de los ovarios, presencia de estructuras ováricas, la edad a la pubertad (EP) ni en porcentajes de preñez de los animales de los distintos tratamientos. Sin embargo, se obtuvo EP menor a la reportada para la región y el desarrollo de los ovarios fue similar al establecido en otras investigaciones y aceptado como adecuado. No se encontró una relación entre la cantidad de folículos o EP con la preñez.

Se recomienda realizar más investigación en condiciones de manejo similares a la que presentan las fincas ganaderas del país y aumentar el número de animales evaluados para una mejor representación estadística.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, la ganadería bovina se considera una actividad de importancia socioeconómica, tanto por el trabajo que genera como por que provee alimentos básicos a la población (Holmann *et al.* 2007). Según Pérez (2011), el país es un importante productor a nivel centroamericano, en donde se destacan los mejores índices productivos y se exporta tanto carne como animales para reproducción, a pesar de no ser el mayor país productor de la región.

A nivel nacional, el sector productivo de carne bovina ha presentado un declive desde mediados de la década de 1980, en donde se ha notado una disminución en el inventario de animales y una caída en cantidades de producción (Holmann *et al.* 2007).

Por lo tanto, la producción animal afronta retos de cambio en las tendencias que se han presentado en los últimos años ya que, el mercado ahora es globalizado y el consumidor más exigente (Holmann *et al.* 2007).

Según Blair (2007), la globalización ha cambiado el concepto mundial de producción, haciendo que la ganadería bovina adopte prácticas para poder sobrevivir, que le permitan alcanzar los máximos niveles productivos, como por ejemplo corregir el déficit alimenticio que en ocasiones sufre el ganado.

De acuerdo con Palma (2005), en los países del trópico la alimentación de bovinos se basa en la utilización de pastos, los cuales tienen una buena producción de biomasa, pero presentan niveles menores otros nutrientes.

Por su parte Holguín *et al.* (2003), indican que los sistemas ganaderos en Costa Rica basan el manejo alimenticio en pasturas naturales de poco rendimiento y baja calidad. Esto limita a la producción ganadera por la escasez de forrajes, principalmente en la época seca.

Lo anterior concuerda con lo expuesto por Depablos *et al.* (2009a), quienes además mencionan que las deficiencias nutricionales que presentan los forrajes repercuten en el desarrollo de bovinos en sistemas de pastoreo y retrasa el inicio de la vida reproductiva de estos animales. De acuerdo con Rúgeles (2001) estas raciones pobres en nutrientes traen consigo un retardo en el desarrollo de las novillas y un pobre reinicio de la actividad ovárica afectando así la productividad del sistema.

Según Jiménez *et al.* (2015), las restricciones nutricionales en los pastos de la región se asocian a las limitaciones climáticas y de suelos que existen en el ambiente tropical, lo cual determina en la mayoría de los casos forrajes asociados a un suministro carente de minerales, produciéndose así una respuesta deficiente por parte del animal.

Las necesidades nutricionales de los animales varían según el estado fisiológico en el que estos se encuentran. Desde el punto de vista metabólico, existen estados fisiológicos con mayor demanda nutricional como lo es la etapa de crecimiento entre el destete y la pubertad (Rúgeles 2001).

Para Aranguren *et al.* (1997), en la etapa de pubertad de una novilla se inicia su vida reproductiva, la cual se caracteriza por diversos cambios anatómicos y fisiológicos, por lo tanto, es importante garantizar un adecuado desarrollo a las novillas, ya que mediante éstas se puede mejorar la productividad del hato e iniciar un buen programa de reproducción.

Conforme las novillas alcanzan la pubertad, el tracto reproductor logra su madurez y por lo tanto su funcionalidad, en esta etapa se da un crecimiento ovárico tres veces más rápido que el resto del cuerpo, con esto se incrementa el área y la actividad folicular y luteal, lo cual indica un comportamiento reproductivo más eficiente al inicio de la vida reproductiva de la novilla (González *et al.* 1998).

Estudios realizados por Aranguren *et al.* (1997), muestran que al suplementar novillas con bloques multinutricionales, se obtiene un mejor desarrollo con un adecuado crecimiento y también se presentan adelantos en la edad a la pubertad, lo cual favorece la producción del sistema, llevando animales a un peso y estado fisiológico adecuado para la reproducción en menor tiempo.

Siendo tan importante para los sistemas de producción bovina un adecuado desarrollo ovárico y una buena reproducción, y tomando en cuenta las deficiencias nutricionales que presentan muchos pastos utilizados en alimentación animal, se propuso un ensayo para probar la efectividad de suplementos minerales y su relación con respecto al desarrollo ovárico y la fertilidad en novillas.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Evaluar el uso de minerales orales e inyectables en novillas como mejorador del desarrollo ovárico y la fertilidad

### **2.2 Específicos**

2.2.1 Conocer el efecto del uso de dos soluciones parenterales y suplementación mineral oral sobre el tamaño ovárico y el desarrollo de sus estructuras.

2.2.2 Evaluar el efecto de la suplementación de minerales sobre la edad a la cual las novillas alcanzan la pubertad.

2.2.3 Analizar la relación entre la cantidad de folículos y las dimensiones del cuerpo lúteo sobre la fertilidad de las novillas.

2.2.4 Conocer el efecto del uso de dos soluciones parenterales y suplementación mineral oral sobre el porcentaje de preñez en inseminación artificial a tiempo fijo.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 Generalidades del sistema reproductor de las hembras bovinas**

El aparato reproductor de las vacas se localiza en la cavidad pélvica del animal. Dicho aparato, presenta una movilidad libre en esa cavidad e incluso en la región abdominal, lo cual se atribuye al tamaño y la flexibilidad del ligamento ancho del útero, cuya función es sostener al útero en su lugar (Rivera 2009).

Es importante recalcar que la posición anatómica del sistema reproductor de las vacas puede cambiar según el estado fisiológico o reproductivo en el cual se encuentre el animal. Por ejemplo: en una vaca preñada, el crecimiento de la cría genera un desplazamiento interno de los órganos. Mientras que en una vaca vacía (no preñada), la posición puede variar por el llenado del rumen, llenado de la vejiga, patologías (tumores, endometritis), entre otras razones (Rivera 2009).

De acuerdo con Pesántez (2015), uno de los métodos más utilizados para el estudio y la evaluación del sistema reproductor en bovinas es la ecografía, la cual consiste en una técnica no invasiva que permite evaluar la fisiología y patologías del tracto reproductivo de estos animales. La técnica se realiza con la sonda de un ecógrafo que se introduce a nivel rectal, de esta manera se obtienen imágenes ultrasonográficas que permiten evaluar las gónadas, el útero e incluso la cría en presencia de gestación.

A continuación, se describe las generalidades de anatomía del sistema reproductor de las hembras bovinas, de caudal a craneal.

##### **3.1.1 Vulva**

Corresponde a la única estructura del aparato reproductor visible desde afuera de la vaca. Consiste en un orificio externo que se localiza debajo de la abertura externa del recto. La vulva está conformada por pliegues de piel cuya función es la protección de las estructuras internas del sistema reproductor (Rivera 2009).

### **3.1.2 Vagina**

De acuerdo con Rivera (2009), la vagina corresponde a la porción de tracto reproductor que se localiza craneal (más cercano o en dirección al cráneo) a la vulva, la cual se extiende (aproximadamente 8 pulgadas) hasta la entrada del cuello uterino o cérvix.

La vagina es el órgano copulador que recibe al pene y es en esta región del tracto en donde el macho bovino deposita el semen en condiciones de monta natural (Pasántez 2015).

Por su parte Betancur *et al.* (2015), indican que la vagina usualmente está contaminada con microorganismos del exterior y en el suelo se la vagina se ubica la uretra aproximadamente a 10 cm de la vulva.

### **3.1.3 Cérvix**

El cérvix o cuello uterino, es un órgano fibroso que está constituido principalmente por tejido conectivo y un poco de músculo liso (Hafez y Hafez 2002). Consiste en un estrechamiento del tracto reproductor que separa al útero de la vagina. Su función principal es impedir la entrada de agentes externos al útero y de esta manera se evita la contaminación en ese órgano (Rivera 2009).

Durante la preñez, en el cérvix se forma un tapón de moco con el fin de aislar físicamente el feto del medio exterior (Rivera 2009). Otra función que cumple el cérvix en la reproducción es que permite el transporte de espermatozoides y es un reservorio natural de semen (Pesántez 2015).

La pared de músculo liso que contiene el cérvix presenta la capacidad de contraerse y relajarse (bajo la influencia de estrógenos) lo cual favorece la entrada del semen durante el estro y la expulsión de la cría durante el parto (Betancur *et al.* 2015).

### **3.1.4 Útero**

Corresponde a la estructura próxima en dirección craneal al cérvix. Es el lugar en el cual se implanta el embrión y donde permanece durante la gestación, por lo tanto, el útero es el responsable de acoger y desarrollar al feto hasta llevarlo al término del proceso. Anatómicamente, el útero de las bovinas se divide en cuerpo y cuernos,

siendo los cuernos una bifurcación del cuerpo por donde se conecta el útero con el oviducto (Rivera 2009).

Según Hafez y Hafez (2002), aparte de la implantación y preñez, el útero realiza diferentes funciones como transportar los espermatozoides hasta el oviducto, síntesis de hormonas y mediante las contracciones genera el parto. Por su parte Betancur *et al.* (2015), indican que el útero secreta una “leche uterina” que nutre al embrión durante la etapa de vida libre (antes de implantarse en el útero).

### **3.1.5 Oviducto**

Corresponde a la estructura anatómica que comunica los cuernos uterinos con los ovarios. En este sitio es donde se da la unión de gametos que se conoce como la fecundación (Rivera 2009).

Anatómicamente, el oviducto se divide en cuatro regiones: las fimbrias, que es el segmento más cercano al ovario cuya función es capturar al óvulo una vez que se da la ovulación; el infundíbulo, una abertura en forma al embudo que está después de las fimbrias; la ampolla, que es la región más dilatada del oviducto y finaliza en el istmo, que es la región más angosta del oviducto y que se conecta con el cuerno del útero (Hafez y Hafez 2002).

### **3.1.6 Ovario**

Los ovarios de las bovinas presentan estructura ovalada en forma de almendra, poseen funciones de producción de hormonas y liberación de óvulos (Sánchez 2011). Lo anterior, concuerda con lo expuesto por Hafez y Hafez (2002), quienes además indican que el ovario está constituido por médula (región interna) y corteza (capa externa). La médula del ovario consiste en tejido conectivo fibroelástico y un extenso sistema de vascularización y nervios, mientras que, en la corteza se presentan estructuras como folículos y cuerpos lúteos (CL).

Por su parte, Pesántez (2015) recalca que los ovarios son considerados por algunos autores como unas de las estructuras más importantes del sistema reproductor de las vacas, ya que mediante la interacción con otras glándulas y estructuras nerviosas controlan al ciclo reproductivo de estos animales.

Según Hafez y Hafez (2002), el patrón vascular del ovario varía conforme lo hacen los estados hormonales, ya que, estos cambios en la arquitectura vascular permiten que la irrigación sanguínea se acople a las necesidades que presenta el órgano, por ejemplo: la distribución sanguínea dentro del ovario cambia durante el periodo previo a la ovulación.

De acuerdo con Pasántez (2015), es importante recalcar que las dimensiones de los ovarios varían entre vacas, novillas y las condiciones en las cuales esté el animal, por ejemplo: los ovarios activos presentan mayor tamaño que los inactivos, lo cual justifica que estos varíen de tamaño o uno sea más grande que otro en la misma vaca.

Lo anterior concuerda con lo expuesto por Sánchez (2011), quien desarrolló un estudio en São Paulo, Brasil en el cual analizó 114 pares de ovarios de vacas cebú y observó diferencias significativas en el ancho de los ovarios, siendo de mayor magnitud el ovario izquierdo con un ancho de 1,95 cm mientras que el derecho con 1,83 cm.

Por su parte, Hernández *et al.* (2014), realizó otra investigación en Mozambique (sureste de África), en donde se analizó los ovarios de vacas de la raza Nguni y concluyó que no hubo diferencias significativas en la longitud ( $3,01 \pm 0,72$  cm) entre ovarios izquierdos y derechos. Con respecto al ancho, los ovarios derechos fueron superiores con un promedio de  $1,89 \pm 0,45$  cm en comparación con los izquierdos.

### **3.1.7 Estructuras ováricas**

Según Pesántez (2015), un folículo es la unidad funcional en el ovario y consiste en una estructura llena de líquidos que alberga un óvulo en desarrollo. Generalmente, se presentan varios folículos por ovario y pueden ser desde tamaños casi invisibles hasta tener 20 mm de diámetro.

Una vez que maduró el óvulo dentro del folículo, se libera al oviducto para la posterior fecundación, por lo tanto, el folículo roto da paso a la formación de otra estructura ovárica llamada cuerpo lúteo, cuya función principal es segregar progesterona también conocida como la hormona de la preñez (Hafez y Hafez 2002).

De acuerdo con Pesántez (2015), la progesterona es una hormona esteroidea que produce el cuerpo lúteo y tiene entre sus objetivos preparar al útero para la implantación embrionaria y mantener la preñez, lo cual se logra porque la progesterona evita que el útero se contraiga, cierra el cérvix y causa modificaciones en la consistencia del moco cervical (lo vuelve más viscoso) con el fin de aislar el útero de agentes extraños del exterior.

Diferentes autores concuerdan que la cantidad de folículos en un ovario es variable; sin embargo, en un estudio realizado por Hernández *et al.* (2014), se observó una diferencia significativa en la presencia de folículos en los ovarios derechos (93,7%), la cual fue mayor que en los izquierdos (66,2%). En cuanto al porcentaje de cuerpos lúteos presentes en ambos ovarios, no se obtuvo diferencia significativa para este estudio.

Por su parte, Pesántez (2015), obtuvo en su investigación que existe una correlación positiva entre el tamaño del cuerpo lúteo y los niveles séricos de progesterona; de igual manera, en un estudio que realizaron Enjoy *et al.* (2012) con vacas Brahman se encontró que, a mayor tamaño del cuerpo lúteo, mayor era el nivel de progesterona en plasma sanguíneo.

En un estudio realizado en Uruguay por Andringa *et al.* (2013), se analizó las dimensiones foliculares en vacas Holstein, en dicha investigación se concluyó que las vacas que presentan folículos dominantes de mayor tamaño muestran un comportamiento de celo más intenso en comparación con vacas cuyo folículo dominante es de menor dimensión.

### **3.2 Pubertad en las hembras bovinas**

De acuerdo con Pedroso *et al.* (2013), la pubertad es el momento de la vida del animal en la cual la hembra adquiere la capacidad de liberar gametos y de manifestar de manera consecutiva su comportamiento sexual. Ambos eventos, involucran la maduración y el funcionamiento del eje de liberación hormonal “hipotálamo-hipófisis-gónadas” y en la hembra bovina se caracteriza por la presencia del celo, la liberación

de gametos (ovulación) y la formación del cuerpo lúteo funcional. En la pubertad, también se observa un desarrollo de los animales a nivel genital y corporal.

### **3.3 Ciclo estral de las hembras bovinas**

El ciclo estral consiste en una serie de eventos que comienzan con un celo y finalizan en el siguiente celo. Este ciclo, se caracteriza por el desarrollo y la regresión de folículos y cuerpos lúteos y tiene una duración aproximada de 21 días, sin embargo, varía en un rango entre 17 y 25 días (Pesántez 2015).

El cumplimiento de este ciclo se rige por hormonas, entre las que se pueden mencionar: la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) que se produce en el hipotálamo; las hormonas folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH) son secretadas en la glándula hipófisis; el estradiol, progesterona y la inhibina se producen a nivel del ovario; mientras que el útero secreta prostaglandina (Betancur, *et al.* 2015).

De acuerdo con Henao y Trujillo (2000), el desarrollo de los folículos se da en forma de ondas, en donde un conjunto de folículos inicia su desarrollo a partir una “reserva en reposo” de células germinales. Este proceso es conocido como reclutamiento.

Posteriormente, los folículos inician la maduración (efecto generado por la FSH); en su etapa inicial se les conoce como folículos primarios y consiste en una célula germinal contenida en una capa simple de células foliculares. Conforme proliferan las células foliculares, la estructura se convierte en folículo secundario, luego se forma una cavidad por acumulación líquida entre las células foliculares, a dicha cavidad se le llama antro y al formarse este, el folículo se considera un folículo terciario cuya apariencia es la de vesícula de líquido en la superficie del ovario (Pesántez 2015).

El folículo terciario que también es conocido como folículo de Graff, será el dominante del grupo de reclutamiento. Lo que ocurre es que, en cada onda folicular, los folículos reclutados establecen una competencia por la dominancia, en la cual solo uno de ellos se desarrolla y sigue creciendo mientras que el resto de folículos sufren atresia (Henao y Trujillo 2000).

En el momento de la ovulación, el folículo terciario se rompe para liberar el óvulo (debido al efecto de la LH). El espacio del folículo que queda vacío, se llena de sangre y forma una nueva estructura ovárica transitoria llamada cuerpo hemorrágico el cual dará origen al cuerpo lúteo que también es llamada cuerpo amarillo ya que se caracteriza por esa coloración y su función principal es la producción de progesterona (Hafez y Hafez 2002).

Si no ocurre preñez, el cuerpo lúteo experimenta un proceso de regresión, lo cual permite que maduren otros folículos. Conforme el cuerpo lúteo se degrada pierde su coloración amarilla, tornándose pardo pálido o blanco, en este momento se conoce con el nombre de cuerpo blanco. La regresión que sufre el cuerpo lúteo en los bovinos inicia entre el día 14 y 15 posteriores al estro, 36 horas después su tamaño suele haber disminuido a la mitad (Hafez y Hafez 2002).

A diferencia de otras especies, las hembras bovinas no son estacionales; una vez que las inician su etapa reproductiva (empiezan a ciclar), se establecen los ciclos estrales de manera continua e indefinida, a menos que exista algún evento anormal que altere dicho ciclo o en condiciones de preñez (Betancur *et al.* 2015).

De acuerdo con Betancur *et al.* (2015), generalmente el ciclo estral se divide en cuatro etapas:

**Estro:** corresponde al día 0 del ciclo estral, es el momento de receptibilidad del macho por parte de la hembra, el estro también se conoce como celo.

**Metaestro:** esta fase es del día 1 al 3 del ciclo estral, es posterior a la ovulación.

**Diestro:** también conocida como fase lútea es cuando se observa el cuerpo lúteo y corresponde aproximadamente al periodo del día 4 al 18 del ciclo.

**Proestro:** es la etapa o fase del ciclo que antecede al estro, por lo tanto, el proestro se da entre los días 19 y 21.

La descripción anterior del ciclo estral concuerda con la expuesta por Pesántez (2015), quien además aporta que en el estro (el cual dura aproximadamente de 10 a 12 horas) se da la maduración folicular; la ovulación ocurre en el metaestro y por lo tanto es en esta fase en la que se forma el cuerpo hemorrágico; el diestro se caracteriza por la presencia del cuerpo lúteo (altos niveles de progesterona), el cual



sufre regresión durante el proestro, en donde se da también la maduración folicular y altos niveles de estrógenos.

### **3.4 Importancia de la reproducción en sistemas de producción bovina**

De acuerdo con Granja *et al.* (2012), un sistema de producción ganadero se considera competitivo y eficiente si sus vacas ciclan lo antes posible, ya que de esta manera se logra alcanzar el objetivo general: la producción de una cría por vaca por año.

Según González y De la Fuente (2012), la edad a la cual las novillas alcanzan la pubertad (EP) se considera un componente importante de la eficiencia reproductiva ya que se relaciona con menores intervalos generacionales.

Lo anterior concuerda con lo expuesto con Granja *et al.* (2012), quienes además recalcan que una elevada edad de pubertad en las novillas influye directamente en los costos de producción del sistema, ya que se estará necesitando más tiempo y recursos para producir lo mismo.

Debido a esto, la crianza de novillas de reemplazo (futuras reproductoras) es considerada “la etapa crítica en la producción vacuna”, por lo tanto, si se logra que las hembras alcancen la pubertad y la preñez al tiempo deseado, mantengan la gestación a término y tengan un parto y lactancia normal, se puede decir que se están cumpliendo una buena producción de reemplazos (Pedroso *et al.* 2013).

Por su parte Jiménez *et al.* (2015) indican que un adecuado desempeño reproductivo está ligado a una buena rentabilidad, lo cual se confirma con la opinión de los ganaderos, quienes reconocen que la reproducción es un elemento fundamental para un adecuado desarrollo y progreso en sus sistemas ganaderos, siendo la meta anhelada lograr intervalo entre partos (IEP) de máximo de 13 meses.

Según Granja *et al.* (2012), los factores mencionados anteriormente se logran cumplir entre otras cosas con una adecuada nutrición. Diferentes estudios han comprobado que el estado nutricional de las hembras bovinas influye de manera directa sobre su desempeño productivo y reproductivo.

Por su parte González y De la Fuente (2012), recalcan que la nutrición es un factor indispensable para el mantenimiento de la actividad reproductiva, ya que un crecimiento deficiente retrasa la edad de pubertad, por lo tanto, también se atrasa la edad al primer servicio y el primer parto.

En cuanto a los factores nutricionales que representan mayor impacto sobre la reproducción de los bovinos se encuentran la energía, proteína, vitaminas y minerales. Por lo tanto, es necesario garantizar la presencia de estos nutrientes en cantidades adecuadas para un buen desarrollo de novillas y una reproducción deseada del ganado (Granja *et al.* 2012).

### **3.5 Los minerales en la dieta de los bovinos**

Los minerales son considerados nutrientes esenciales en la dieta de los bovinos, esto porque son necesarios para el crecimiento, desarrollo, mantenimiento y reproducción de estos animales (Luna y Roldan 2013).

Según Salamanca (2010), los minerales son nutrientes indispensables para la transformación de los alimentos en los componentes del organismo y en los productos de comercialización de los sistemas de producción bovina como lo es: carne, crías, piel, leche, entre otros.

De acuerdo Luna y Roldan (2013), aproximadamente un 5% del peso vivo (PV) de los bovinos corresponde a los minerales que conforman su organismo. Por su parte, Fernández (2014), indica que ese valor oscila entre el 3% y el 6% del PV, en donde aproximadamente el 80% conforma el esqueleto, mientras que el 20% restante es distribuido en tejidos y líquidos corporales.

Los minerales se pueden clasificar de manera general en macrominerales y microminerales. Siendo los macrominerales aquellos que son requeridos por el animal en mayor proporción, a nivel de gramos por día (g/día). Mientras que los microminerales son aquellos que se necesitan en cantidades inferiores, a nivel de miligramos por día (mg/día) (Fernández 2014).

Según Luna y Roldan, (2013), los macrominerales también llamados macroelementos se pueden representar como porcentaje de materia seca (%MS)

consumida en la ración, y los microminerales (microelementos u oligoelementos) también se representan en partes por millón (ppm) en la materia seca (MS).

De acuerdo con Fernández (2014), entre los macrominerales más comunes se pueden citar: calcio (Ca), fósforo (P), cloro (Cl), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). Mientras que en los microminerales se encuentran: selenio (Se), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), yodo (I), cobalto (Co) y manganeso (Mn).

En general, los minerales se localizan distribuidos de diferentes formas en el organismo: de forma iónica, como sales no disociadas y combinados con otros compuestos orgánicos. Siendo cada una de esas formas de importancia para el metabolismo del elemento, sin embargo, la de mayor importancia es la forma iónica. Los iones se clasifican según su carga, cationes los de carga positiva por la pérdida de electrones y aniones los que por medio de la ganancia de electrones presentan una carga negativa (Loján 2011).

Se han reportado desbalances y deficiencias de minerales en animales herbívoros en la mayoría de las regiones tropicales del mundo. Por lo que se puede decir que es un problema generalizado ya que es inevitable en estas regiones de los diversos continentes. Las carencias de estos elementos nutricionales varían desde agudas, hasta leves difíciles de diagnosticar expresadas como producción y reproducción no satisfactoria (Russell y Arthington 2005).

Existen deficiencias primarias y secundarias de estos elementos. Cuando la cantidad de estos es nula o inferior a la requerida o demandada por el animal, se está ante una deficiencia primaria, mientras que se habla de deficiencia secundaria cuando no es posible una adecuada absorción del mineral por parte del organismo del animal debido a la interferencia o interacción de mineral con otros elementos presentes en el alimento (Luna y Roldan 2013).

De acuerdo con Luna y Roldan (2013), en condiciones de deficiencia de minerales, se afecta el funcionamiento de biomoléculas y tejidos, en general se altera el metabolismo de los animales. Por su parte García *et al.* (2010b), indican que la carencia de minerales es uno de los principales problemas nutricionales que enfrenta la ganadería bovina, creando así un impacto negativo en el desempeño reproductivo de los bovinos.

Según Depablos (2009a), la carencia de minerales de los bovinos en el trópico se debe a la baja presencia de minerales en los forrajes en la región. Lo anterior se da por que la baja disponibilidad de minerales en los suelos impide que estos transfieran una adecuada concentración de los elementos a los tejidos de las plantas (Salamanca 2010). Lo cual, se refleja en la afectación de la eficiencia del sistema productivo, ya que, al retrasar el crecimiento y el inicio de la actividad reproductiva, alarga los periodos productivos elevando así los costos de producción (Depablos 2009a).

Según Salamanca (2010), en algunas ocasiones se cuenta con la presencia de los minerales, pero su carencia a nivel del organismo del animal sigue existiendo, esto se debe a interferencias de un mineral sobre el metabolismo de otro, lo cual genera que este último no logre ser utilizado por el animal. Dichas interferencias pueden ser a nivel del suelo, de la planta, en los alimentos y en el animal.

Debido a esto, es frecuente que, en los sistemas ganaderos a base de pastoreo en las regiones tropicales, los animales presenten problemas de crecimiento posterior al destete, esto produce un retraso en las etapas posteriores y en la madurez fisiológica (Maquivar *et al.* 2006).

Por su parte Depablos *et al.* (2009a), indican que una inadecuada nutrición mineral se refleja en los bovinos mediante signos clínicos, entre los más comunes se pueden mencionar: pica (los animales muerden árboles u objetos para adquirir minerales), pelo hirsuto y baja fertilidad. Por su parte Suttle (2010), indica que los animales con un alto potencial de producción, generalmente requiere mayores cantidades de nutrientes por lo que ante carencias están más propensos a problemas que genera la insuficiencia.

Según García *et al.* (2006), a nivel mundial el P y el Cu son los dos minerales que con mayor frecuencia presentan deficiencias en bovinos de pastoreo y condiciones de carencia de Cu se caracterizan por presencia de anestro, repetición de servicio y en general problemas reproductivos tanto en novillas como en vacas.

Otro problema importante que provoca una dieta con carencias de minerales (en especial Cu y Zn) en los bovinos, es la atrofia del timo y el bazo, lo cual afecta de manera directa el sistema inmune, esto deja a los animales más expuesto a microorganismos patógenos que comprometen la salud del hato (Cuesta *et al.* 2011).

## **3.6 Minerales utilizados en la suplementación de bovinos**

### **3.6.1 Calcio**

De acuerdo con Barroso (2015), una función muy conocida de este mineral es su participación como componente estructural del sistema óseo, además es indispensable para el proceso normal de coagulación sanguínea, la excitabilidad a nivel neuromuscular, el mantenimiento del ritmo cardiaco, activaciones enzimáticas, controles de permeabilidad en membranas, regulación de muchas hormonas (actuando como segundo mensajero) y también participa en la absorción y actividad de otros minerales.

Según Hurtado *et al.* (2012), en condiciones normales, la concentración de Ca en sangre en bovinos oscila en un rango entre 2,0 y 2,6 mmol/L, dicho valor es constante y se relaciona de manera directa con la concentración de P presente en el torrente sanguíneo. Dicha proporción Ca y P se encuentra entre 1:1 y 1:2.

La carencia de Ca en la dieta de los bovinos genera ciertos síntomas debido a la deficiencia, como lo son: problemas de desarrollo (crecimiento), reducción de consumo de alimento balanceado, presencia de huesos débiles y/o malformados, problemas en dientes, disminución en producción de leche y los animales jóvenes pueden presentar raquitismo (Fernández 2014). Según Granja *et al.* (2012), deficiencias de Ca en hembras preñadas puede producir problemas de malformación ósea y reducción de la viabilidad del feto.

El ácido clorhídrico (HCl) del estómago juega un papel importante en el proceso de absorción del Ca, ya que solubiliza parte del mineral ingerido. La absorción de este elemento se da a nivel del intestino delgado, en donde la vitamina D es requerida porque incrementa el transporte activo que se requiere para el proceso de absorción (Loján 2011).

### **3.6.2 Fósforo**

Este mineral puede ser ingerido de dos formas: como fósforo inorgánico (por ejemplo, fosfatos de Na, Ca, entre otros) y como fósforo orgánico que es el que corresponde al unido a fracciones orgánicas de la dieta como lo son los fosfolípidos y los ácidos nucleicos (Loján 2011).

De acuerdo con Fernández (2014), el P junto con el Ca son los minerales en mayor proporción en el cuerpo de los bovinos, en donde aproximadamente un 80% de P participa en la conformación ósea del animal. Por su parte Loján (2011), recalca que otra función importante del P es su desempeño en los procesos energéticos del organismo, ya que por medio de la formación de ATP participa en la transferencia energética para el metabolismo en general.

Lo anterior concuerda con lo expuesto por Hurtado *et al.* (2012), quienes además indican que aproximadamente el 1% del peso corporal del animal corresponde a la cantidad de P, el cual se encuentra en los huesos como fosfato de calcio, como ácidos nucleicos en los componentes intracelulares y en la membrana plasmática como fosfato orgánico.

Al igual que el Ca, la deficiencia de P genera síntomas relacionados con el sistema óseo como detención del crecimiento, debilidad y malformación de huesos y dientes, raquitismo en animales jóvenes y disminución en la producción de los animales (Fernández 2014). Por su parte Granja *et al.* (2012), indican que la carencia de P afecta la reproducción debido a la presencia de estros irregulares.

Este mineral se absorbe principalmente en el intestino delgado, sin embargo, también se absorbe poco en el intestino grueso, ya sea en forma de ácido fosfórico o fosfatos. La absorción del P se favorece con vitamina D y la relación de Ca en la dieta (Loján 2011).

### **3.6.3 Magnesio**

Según Fernández (2014), este mineral también participa de manera importante en la formación de huesos, de tal manera que se dice que el 70% del Mg presente en el organismo, se localiza en el sistema óseo. El magnesio también se considera necesario en el metabolismo de las células, activador de enzimas y generador de un efecto amortiguador del pH ruminal.

Una importancia fisiológica muy conocida del Mg es la preservación del potencial eléctrico de membranas en células excitables, además es un importante cofactor de diferentes enzimas (Hurtado *et al.* 2012).

Lo anterior concuerda con lo expuesto por Loján (2011), quien además agrega que el Mg participa en el mecanismo de contracción muscular y en la transmisión de impulsos nerviosos. También indica, que los bovinos lo ingieren al consumir plantas verdes ya que este mineral forma parte de la molécula de clorofila.

Por su parte, Hurtado *et al.* (2012), recalca que el Mg es un mineral que carece de depósito corporal, por lo que su concentración sanguínea depende de la ingesta diaria. Además, aclaran que la concentración normal de Mg en el torrente sanguíneo de los bovinos permanece dentro de un rango de 0,7 y 1,1 mmol/L.

#### **3.6.4 Azufre**

El azufre juega un papel importante en el proceso de síntesis de proteína microbial y por lo tanto con todas las necesidades del rumiante que dependen de dicha síntesis (Fernández 2014).

Por su parte Gómez *et al.* (2011), indica que este macromineral es esencial en los rumiantes para la formación de aminoácidos como la cisteína, metionina, taurina y cistina, así como para algunas vitaminas como la tiamina. Este elemento representa aproximadamente un 0,15% del PV en los bovinos.

#### **3.6.5 Selenio**

De acuerdo con Matamoros y Moreno (2009), el selenio actúa de manera asociada con la vitamina E, es por esto que ambos presentan acciones relacionadas y complementarias. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Fernández (2014), quien, además indica que debido al complemento del Se y la vitamina E, estos generalmente se tratan de manera conjunta.

Deficiencias de Se y vitamina E afectan el transporte espermático a través del tracto reproductor de los machos, mientras que, ante la carencia en hembras, se suelen presentar problemas de retención de placenta y metritis (Fernández 2014).

Por su parte Matamoros y Moreno (2009), indican que el selenio es el mineral más relacionado frecuentemente con problemas de reproducción en bovinos, tanto así que en diferentes estudios se ha utilizado este mineral (asociado a vitamina E) para la reducción de problemas de retención placentaria y metritis. Lo anterior concuerda con

lo expuesto por Granja *et al.* (2012), quienes recalcan lo necesario que se considera este mineral con respecto a la reproducción bovina.

### **3.6.6 Yodo**

Este elemento juega un papel importante en la síntesis de hormonas que produce la glándula tiroides, tiroxina ( $T_4$ ) y triyodotironina ( $T_3$ ). Dichas hormonas controlan el metabolismo de lípidos, proteínas y carbohidratos, la temperatura corporal, el desarrollo y crecimiento, función muscular y la reproducción (Matamoros y Moreno 2009).

Por su parte Granja *et al.* (2012), indican que la deficiencia de este mineral durante la gestación en vacas puede generar crecimiento anormal del feto, así como retención placentaria. También se asocia con estros irregulares.

En condiciones deficientes de yodo, la reducción de hormonas tiroideas genera una disminución en el metabolismo basal del animal, por lo tanto, éste tendrá problemas en el intercambio de energía como lo es el caso de la liberación de calor corporal (Matamoros y Moreno 2009).

### **3.6.7 Potasio**

A diferencia de otros minerales, el K se encuentra frecuentemente en los forrajes utilizados para alimentación animal, por lo que se dice que estos son una buena fuente del mismo (Hurtado *et al.* 2012).

Se dice que el K es el catión que se encuentra en mayor proporción en el líquido intracelular. Este mineral es fundamental para mantener un balance de acidez (ácido-base) y para permitir una adecuada transmisión de impulsos nerviosos a las fibras musculares (Hurtado *et al.* 2012).

En condiciones de deficiencia de K, según Hurtado *et al.* (2012), se genera parálisis muscular en los miembros del animal.

### **3.6.8 Zinc**

De acuerdo con Matamoros y Moreno (2009), el Zn, al igual que el Mg, es necesario para la producción de gonadotropinas hipofisarias como la hormona



Luteinizante (LH). Además, el Zn participa en el metabolismo de ácido araquidónico y de prostaglandinas.

Según García *et al.* (2010a), el valor ideal en sangre para el Zn en bovinos corresponde aproximadamente a 12,60 mmol/L. En ausencia de este mineral, se suele observar una disminución en el porcentaje de preñez, ya que se desfavorece el proceso de maduración folicular (Matamoros y Moreno 2009).

Además, este elemento juega un papel importante en el metabolismo de lípidos, proteínas, vitamina A y ADN, por lo tanto, en momentos de deficiencia, se presentan alteraciones en todo el proceso reproductivo como lo son: reabsorciones embrionarias, ausencia de celos, muerte de fetos y problemas de retención de placenta (Matamoros y Moreno 2009).

Una razón por la cual este elemento es tan importante para la reproducción, es porque al igual que el selenio y el cobre, participa en la reducción del estrés oxidativo a nivel ovárico (Fernández 2014).

### **3.6.9 Cobre**

El Cu es un mineral de gran importancia para una reproducción adecuada ya que este interviene en la síntesis de prostaglandinas como la prostaglandina F2 alfa, que cumple la función de realizar la luteólisis (ruptura del cuerpo lúteo) y de esta manera reiniciar el ciclo, lo cual evita el retraso o la anulación de celos (Celis 2002).

Según García *et al.* (2010a), para esta especie de animales se considera que el valor crítico de Cu en sangre corresponde a 11,77 mmol/L, por lo tanto, ante la presencia de valores inferiores a este, se dice que dicho mineral está deficiente.

Del Cu en los rumiantes, el molibdeno (Mo) y el S, son los antagonistas principales. Lo que ocurre es que el S dietético se reduce a sulfuro a nivel ruminal, el cual reacciona con el Mo y produce tiomolibdatos, los cuales forman compuestos insolubles con el Cu en el rumen e intestino, ligándolo y limitando su aprovechamiento por parte del animal, ya que se eliminan por las heces (Minatel *et al.* 2007).

### 3.7 Requerimientos de minerales en ganado bovino

De acuerdo con Russell y Arthington (2005), los requerimientos de minerales de los animales se ven afectados por distintos factores, entre los cuales se pueden mencionar: tipo y nivel de producción, nivel y forma química de los minerales en ingredientes alimenticios, la edad del animal, la raza, el consumo suplementario del mineral y la adaptación del animal.

En el Cuadro 1, se muestran los requerimientos aproximados de minerales sugeridos por el NRC citados por Russell y Arthington (2005), para la ganadería de carne.

Cuadro 1. Requerimientos aproximados de minerales sugeridos para ganado bovino en sistemas de producción de carne.

Mineral	Etapa fisiológica del animal	
	Crecimiento y engorde	Lactación temprana
Calcio %	0,19 a 0,73	0,22 a 0,38
Fósforo %	0,12 a 0,34	0,16 a 0,24
Magnesio %	0,10	0,20
Potasio %	0,60	0,70
Sodio %	0,06 a 0,08	0,10
Azufre %	0,15	0,15
Cobalto (ppm)	0,20	0,20
Cobre (ppm)	10,00	10,00
Yodo (ppm)	0,50	0,50
Hierro (ppm)	50,00	50,00
Manganeso (ppm)	20,00	40,00
Selenio (ppm)	0,10	0,10
Zinc (ppm)	30,00	30,00

Fuente: Russell y Arthington (2005)

Un aspecto que afecta los requerimientos minerales son los parásitos, ya que se reduce la absorción de los elementos a nivel intestinal. El vómito y la diarrea que algunos parásitos provocan reduce la absorción a nivel intestinal e incrementan los requerimientos de los minerales (Russell y Arthington 2005).

### **3.8 Los minerales y la reproducción bovina**

Según Fernández (2014), todos los minerales que requieren los animales para el crecimiento y la producción, son indispensables para sus funciones reproductivas. Sin embargo, algunos minerales tienen una relación relevante con la función reproductiva como el Ca, Se, P, Cu y Zn.

Diferentes estudios han demostrado que las novillas para alcanzar la pubertad requieren un tamaño y peso adecuado, por lo tanto, condiciones deficientes a nivel nutricional como lo es el caso de los minerales, afectará la tasa de crecimiento y ganancias de peso, lo cual se refleja en edades avanzadas de pubertad (Pedroso *et al.* 2013)

De acuerdo con Matamoros y Moreno (2009), existen algunos minerales (como fósforo, zinc, yodo y selenio) necesarios para un adecuado desarrollo del ciclo reproductivo de las vacas. Por lo tanto, si el animal cuenta con estos elementos en la condición óptica se verán beneficios reproductivos como, por ejemplo: disminución del intervalo entre partos (IEP), reducción de los días abiertos, menor número de servicios por concepción lo cual se asocia con una adecuada involución uterina.

De acuerdo con Salamanca (2009), diferentes estudios han demostrado que, en condiciones de carencia de minerales en las dietas del ganado bovino, se presentan más problemas de reproducción lo cual se manifiesta como porcentaje de abortos igual o superior a 10%, porcentajes de preñez inferiores a 45% y edades y pesos a primer servicio y al parto fuera de los rangos establecidos como aceptados para un sistema de producción ganadero productivo.

Por su parte Granja *et al.* (2012), indican que se ha demostrado que el desempeño reproductivo en hembras bovinas se ve influenciado debido al consumo de nutrientes en cada una de las etapas de su vida. Un claro ejemplo de esto es el

efecto de la nutrición materna: mediante diferentes estudios se ha concluido que, durante las primeras etapas de desarrollo fetal, la nutrición de la madre puede influir en el desarrollo del sistema reproductivo de la cría.

El efecto de los problemas reproductivos en los bovinos ante la falta de minerales, se ve como una “protección natural” en condiciones de escasez, ya que el organismo de las vacas al no ciclar se garantiza evitar demandas de nutrientes posteriores generados por una futura gestación y una lactancia (Matamoros y Moreno 2009).

La reproducción de los bovinos se ve afectada cuando la tiroides no funciona adecuadamente (por falta de yodo), lo cual se ve reflejado en la reducción de la actividad ovárica y los porcentajes de preñez. Además, ante esta deficiencia también se afecta el comportamiento sexual de los animales como lo es la disminución de la libido. También aumenta las reabsorciones de embriones, los abortos, retenciones placentarias, entre otras cosas (Matamoros y Moreno 2009).

### **3.9 Métodos de suplementación mineral en sistemas ganaderos**

Entre las prácticas que se toman en cuenta para solucionar o reducir los problemas de fertilidad en los sistemas con miras a la reproducción bovina, está la suplementación alimentaria estratégica con el objetivo de mejorar los parámetros reproductivos y productivos del sistema (Maquivar *et al.* 2006).

Por su parte García *et al.* (2007), indican que, en la actualidad, aparte de la suplementación oral, se utiliza la aplicación de suplementos parenterales, lo que presenta ventajas, por ejemplo: evita las interacciones a nivel del tracto digestivo, se aplican en el momento preciso y se garantiza que el animal reciba la dosis adecuada y así pueda enfrentar posibles deficiencias nutricionales durante la etapa de producción.

Sin embargo, según Russell y Arthington (2005) también se conocen técnicas indirectas de suplementación mineral en bovinos; dicha práctica incluye: el uso de fertilizantes a nivel de pasturas que aporten los minerales deseados, la variación de pH del suelo y la promoción del crecimiento de algunas especies de pasturas.

Lo anterior se justifica porque al nutrir los pastos que consumen los animales, estos adquieren los minerales al cosechar el pasto en potrero. Muchos estudios indican que niveles altos de pH en el suelo altera la absorción de minerales por parte del forraje. Con respecto a la promoción de ciertas especies de plantas se realiza porque se puede utilizar las diferencias en el contenido mineral de las distintas plantas que crecen en los mismos suelos para inhibir o promover la disponibilidad de los elementos específicos para los bovinos en pastoreo (Russell y Arthington 2005).

Por su parte Underwood y Suttle (1999), indican que las técnicas de suplementación indirecta de minerales en ganado de pastoreo pueden presentar ciertas limitaciones debido a la importancia que representa la interacción entre el suelo, el cultivo y el mineral. Además, recalca antes de decidir utilizar estas estrategias de suplementación, es importante considerar las condiciones climáticas y económicas con las que se cuenta ya que puede convertirse en una práctica antieconómica para el sistema de producción.

### **3.10 Estudios realizados de suplementación mineral en bovinos**

En una investigación desarrollada en Venezuela por Botacio y Garmendia (1997), se midió el efecto de la suplementación oral de una mezcla de minerales. Se demostró que al realizar este tipo de suplementación se aumentó de manera significativa el porcentaje de preñez tanto en novillas como en vacas, lo cual se ve reflejado en la disminución del intervalo entre partos y parto-concepción, los días abiertos disminuyeron de 158 a 140 ( $P < 0,05$ ) y también el porcentaje de abortos disminuyó en un 8% de los animales suplementados con respecto a los del grupo control. Además, se verificó que el tratamiento aplicado ayudó a reducir pérdidas de peso en condiciones de época seca.

Por su parte García *et al.* (2006), demostraron que al aplicar cobre a novillas mediante inyecciones subcutáneas de sulfato de cobre (2,5%), se redujo las necesidades de este mineral en el ganado. Esto se reflejó en el aumento de indicadores reproductivos y generó beneficios económicos al sistema. En un estudio similar en Cuba (García *et al.* 2007), mediante la aplicación de 2 ml de  $\text{CUSO}_4$  al 2,5%,

observaron que en el grupo de las vacas tratadas se redujo un 16% el intervalo entre partos y el periodo abierto en 36%. También, se presentó una menor cantidad de celos silentes generando así un aumento en un 18% en detección de celos.

Al utilizar una solución inyectable a base de cobre, zinc y manganeso, Cuesta *et al.* (2011), encontraron diferencias en la salud, producción y condición corporal de las vacas tratadas en comparación con el grupo control. En las vacas inyectadas se obtuvo una disminución en problemas de salud, la producción láctea al igual que la condición corporal tuvo una tendencia a incrementar de manera estable o a sostenerse.

En un estudio realizado en Venezuela por Obispo *et al.* (2002) se trabajó con tres grupos de bovinos de carne en pastoreo y cada grupo se suplementó oralmente de la siguiente manera: grupo 1, la suplementación se dio 284 días antes de finalizar la época lluviosa y durante toda la época seca; grupo 2, suplementados 98 días de transición de época seca a lluviosa y grupo 3, se suplementaron durante los 98 días iniciales de la época lluviosa. La suplementación consistió en ofrecer una mezcla de minerales (10%P, 15% Ca, 13% Na, 17%Cl, 1% Mg, 0,5% Zn, 1% S, 0,3% Mn, 0,15% Fe, 0,13 % Cu, 50 mg/kg de I, 20 mg/kg Co y 15 mg/kg Se) a libre consumo durante los periodos indicados. Se observaron ganancias diarias de peso superiores en los animales del grupo 3, en el grupo 2 los animales perdieron peso, por lo tanto, se concluye que la suplementación mineral en el ganado bovino puede generar resultados diferentes según la época del año en la cual se realice, lo cual puede deberse a la variabilidad en la composición de los forrajes.

Un experimento realizado en Colombia por Tenjo y Cardona (2008), reveló como al suplementar un complejo mineral inyectado que contenía zinc, cobre, selenio y yodo, se obtienen diferencias significativas en el buen funcionamiento ovárico de los animales tratados con respecto al grupo control al evaluar porcentaje de preñez, cuerpos lúteos y vacas vacías.

Por su parte Matamoros y Moreno realizaron un estudio en Honduras en el año 2009 con vacas lecheras, en esa investigación se disminuyó el intervalo de días abiertos, las repeticiones y la cantidad de vacas en anestro post-parto mediante la aplicación de un producto comercial que contenía P, Zn, I y Se.

En el sur de la provincia Villa Clara en Cuba, García *et al.* (2010a), hicieron una investigación donde evaluaron los niveles de microelementos (Cu, Fe, Zn y Mn) en el suelo de los pastizales y en sangre de los bovinos alimentados con dichos forrajes. Lograron concluir que los bajos niveles de minerales causaron deterioro en los factores reproductivos, en donde uno de los más observados fue la elevada edad al primer parto.

Por su parte, Fajardo *et al.* (2013), comprobaron que mediante suplementación mineral oral se mejoran los índices reproductivos en novillas. El estudio consistió en ofrecer una mezcla de minerales en la dieta de las novillas (dicha mezcla contenía Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, y Fe), y se observó que la aparición de la pubertad y preñez fue más temprana en el grupo de novillas tratadas en comparación con el grupo control que consumía la misma dieta, pero sin la mezcla de elementos.

En un estudio realizado en el municipio de Mauroa en Venezuela, entre agosto 2010 y abril 2011, Jiménez *et al.* (2015), evaluaron el efecto de la suplementación parenteral de minerales sobre el comportamiento reproductivo de vacas lecheras mestizas. Dicha investigación incluyó dos ensayos independientes de manera simultánea en donde para un ensayo se utilizó un tratamiento (T1), que consistió en la aplicación de Se y Mg inyectado 60 y 30 días antes del parto y luego Se y Cu a los 30 días post parto. El tratamiento del segundo ensayo (T2) fue la aplicación de Se y Cu al momento del parto y luego Se y Mg a los 45 días pos parto. T1 logró una reducción significativa de los días abiertos lo cual se vio reflejado de manera directa en el IEP, mientras que T2 no mostró diferencias con respecto al grupo control. Por lo tanto, estos autores recomiendan la suplementación mineral para mejoras reproductivas de los hatos lecheros, siempre y cuando se realice en el momento y con la estrategia adecuada.

Mediante un experimento realizado con 180 vacas de doble propósito en el estado de Yarcuy, en Venezuela, se concluyó que niveles séricos apropiados de P favorecen una adecuada reproducción bovina. La investigación consistió en: evaluar el efecto de suplementación oral de una mezcla de minerales (Ca, P, Mg, Cl, Na, S, K, Co, Cu I, Se, Zn y vitaminas A, D3 y E) *ad libitum*, sobre los niveles de P sérico. La concentración sérica de P en el tratamiento fue de 2 mg/dl más que en el grupo control.

Los resultados mostraron una disminución del IEP de 44 días en promedio para los animales suplementados en comparación con el grupo control. Además, el porcentaje de vacas vacías en el grupo del tratamiento fue de 15% mientras que en el grupo control correspondió a 33% (Barrios *et al.* 2013).

En la región norte de Uruguay, Betancur *et al.* (2015), investigaron el efecto de la suplementación con selenio sobre la reproducción de 35 vacas Brangus. Para la investigación se dividió el lote de animales (16 del grupo control y 19 recibieron el tratamiento), al grupo tratado se le suministró de manera subcutánea cuatro dosis (días -90, -45, 0 y +45 del comienzo del empadre) de un producto comercial que contenía selenito de sodio con glicerofosfato de sodio, vitaminas A, D y E. Se realizaron diagnósticos de preñez al día 100 del empadre y el porcentaje de preñez fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) en los animales suplementados. El grupo control obtuvo un 50% de vacas preñadas, mientras que de los 19 animales tratados se preñó el 94,7%.

En otro estudio realizado en Venezuela por Depablos *et al.* (2009b), se trabajó con novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* en pastoreo, se hizo una suplementación oral *ad libitum* con una mezcla que contenía 24,16% Ca, 10,75% Na, 13,63% P, 2,63% Mg, 0,64% Cu, 1,01% S, 1,54 mg/kg Zn, 24 mg/kg Co y 49mg/kg Se. Los animales suplementados se compararon con un grupo control que recibió solo sal blanca. Al finalizar la época de monta, no se encontró diferencias significativas en los porcentajes de preñez del grupo de novillas suplementadas (81,5%) en comparación con el grupo control (81,8%), tampoco se observó una variante en el desarrollo del tracto reproductor ni en las estructuras ováricas al comparar los resultados de ambos grupos de animales. Lo anterior, según los autores puede deberse al contenido de minerales presente en los forrajes que consumían los animales durante el estudio.

Por su parte Machado *et al.* (2013) desarrollaron un experimento en Nueva York, Estados Unidos, en donde aplicaron dos inyecciones de minerales a vacas preñadas (a los 230 y 260 días de gestación) y una inyección a los 35 días posteriores al parto, el ensayo se realizó con 1416 vacas Holstein. Cada aplicación consistió en 5 ml de un producto comercial que contenía 300 mg/ml de Zn, 25 mg/ml de Se, 50 mg/ml de Mg y 75 mg/ml de Cu. Al comparar las vacas tratadas con animales sin suplementar,



se observó menor riesgo de aborto y se presentó menos endometritis, con respecto a la presencia de mastitis clínica no se encontraron diferencias significativas, tampoco se observó un efecto sobre el comportamiento reproductivo ni en la producción láctea.

En un estudio realizado por Cseh *et al.* (2012), se suplementó diariamente con Mg (en una dosis de 15 g/animal) a vacas Angus preñadas. Las vacas suplementadas ganaron en promedio 68 g/día más que las vacas del grupo control y los terneros de las vacas que recibieron el tratamiento de Mg pesaron 20,8 kg más al destete que los hijos de las vacas no suplementadas. Por lo que los autores concluyen que la suplementación brindada favorece una mejoría en la condición corporal (lo cual se asocia a una eficiencia en la reproducción) y en la producción láctea ya que sus crías se desarrollaron más.

Un estudio desarrollado por Moriel y Arthington (2013), concluye que la suplementación oral mineral no causa efecto en el desarrollo de los animales si la dieta suministrada suple los requerimientos de estos nutrientes. Lo anterior se debe a que en dicha investigación realizada en Florida, Estados Unidos, con vacas Brahman x Angus que consumían pasto y concentrado, no se encontraron diferencias significativas en la ganancia de peso a pesar que las concentraciones de Co, Se y Cu sérico fueron superiores en los animales suplementados en comparación con los del grupo control. También concluyen que ante la deficiencia de otros nutrientes como la energía y la proteína el efecto de niveles altos de minerales en la ración no generará un cambio.

Por su parte Narváez y Núñez (2013), trabajaron con un total de 63 vacas en Honduras, el grupo de animales se dividió en 4 y se les asignó los siguientes tratamientos: Grupo 1: 100 µg GnRH + 10 ml de suplemento mineral (butafostán y cianocobalamina); Grupo 2: grupo control (2 ml de solución salina fisiológica); Grupo 3: 100 µg GnRH y Grupo 4: 10 ml del suplemento mineral. No hubo diferencias significativas en la presencia de celos, sin embargo, los índices de preñez mejoraron con la utilización del inyectable mineral inclusive por encima de GnRH.

## 4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en la Finca de Producción Animal de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica. Dicha finca está ubicada en la Estación Experimental los Diamantes propiedad del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en Guápiles, cantón de Pococí, en la provincia de Limón. La posición geográfica de la finca es 10°, 13' latitud Norte y 86°, 46' longitud Oeste. Presenta una altitud de 249 msnm, la temperatura promedio de esta región en el periodo del estudio fue de 25,26°C y presentó una precipitación promedio de 458,94 mm mensuales<sup>1</sup>

### 4.1 Generalidades de manejo

El estudio se llevó a cabo de mayo 2014 a junio 2015. Se trabajó con 42 novillas provenientes de la zona de Sarapiquí, las cuales eran una mezcla de *Bos taurus* x *Bos indicus*. Estos animales se compraron con una edad promedio de 8 meses y un peso aproximado de 180 kg.

Durante el ensayo, las novillas permanecieron estabuladas en corrales de 35 m<sup>2</sup>, techados en su totalidad, delimitados por barreras de tubos metálicos y el piso es de cemento el cual se recubrió con alfombras sintéticas. Cada uno de los corrales contaba con una canoa para alimentación de los animales, así como un saladero y una pila para el consumo de agua.

El manejo al que estuvieron expuestas estas novillas fue: alimentación dos veces al día y lavado diario de corrales, además una vez que inició el experimento (después de un periodo de adaptación de 15 días) las novillas fueron pesadas, inyectadas con sus respectivos tratamientos y valoradas mediante ultrasonografía reproductiva una vez al mes. Además, cada dos meses se les tomaron medidas zoométricas para la recolección de datos de otro estudio simultáneo, el cual tuvo la misma duración (de mayo 2014 a junio 2015).

---

<sup>1</sup> Estación meteorológica CORBANA, La Rita, Pococí, Limón. Datos obtenidos en octubre 2016.

Con respecto a la alimentación, se estableció una etapa para Desarrollo 1 y una de Desarrollo 2, en donde la etapa de Desarrollo 1 finalizó cuando los animales alcanzaron un peso de 300 kg y a partir de ese momento inició la etapa de Desarrollo 2. Todos los animales recibieron la misma dieta, la cual, estuvo conformada por pasto picado (PP) King grass (*Pennisetum purpureum cv*) a los 60 días de edad, banano verde de rechazo (BR) y cáscara de banano maduro (CM). En ambas etapas se adicionó a la dieta un alimento balanceado elaborado en la finca y una porción de urea como fuente de nitrógeno no proteico. En la etapa de Desarrollo 1, el alimento balanceado (D1) contenía 16% PC, 3300 kcal/kg ED, mientras que en la etapa de Desarrollo 2 (D2), varió a 13% PC, 3400 kcal/kg ED. En las canoas todos los animales, excepto los del grupo control, contaban con una mezcla 50:50 de sal blanca y Pecutrín® vitaminado (SM). En el Cuadro 2, se muestra la cantidad diaria ofrecida de alimentos a los animales.

Cuadro 2. Cantidades diarias de los componentes de la dieta suministrada a las novillas en las etapas de Desarrollo 1 y Desarrollo 2.

Alimento	Cantidad ofrecida de materia fresca en cada etapa de alimentación (Kg)	
	Desarrollo 1	Desarrollo 2
Pasto picado	5	7
Banano verde de rechazo	15	20
Cáscara de banano maduro	Libre consumo	Libre consumo
Úrea	0,10	0,13
Alimento balanceado desarrollo 1	1,5	-
Alimento balanceado desarrollo 2	-	2

En el Cuadro 3, se muestra la composición nutricional de los alimentos empleados, dicha información fue obtenida por Rodríguez (2015), quién simultáneamente desarrolló otra investigación con los mismos animales.

Cuadro 3. Composición nutricional de los nutrientes de la dieta utilizada en las novillas

Nutriente	Alimento					
	SM	CM	PP	BR	D1	D2
Materia Seca (%)	94,00	13,85	11,20	17,91	87,91	88,45
Cenizas (% MS)	99,00	10,94	13,57	6,26	5,98	3,99
PC (% MS)	-	8,16	7,20	5,07	16,00	14,00
EM (Mcal/kg MS)	-	1,92	1,65	2,51	2,97	3,10
Calcio (% MS)	11,50	0,27	0,20	0,06	0,15	0,16
Fósforo (% MS)	9,00	0,18	0,26	0,11	0,92	0,68
Sodio (% MS)	20,00	0,023	0,019	0,006	0,086	0,057
Potasio (% MS)	-	4,39	4,91	2,40	1,84	0,98
Magnesio (% MS)	1,50	0,14	0,15	0,12	0,43	0,31
Zinc (mg/kg MS)	4 000	15,97	25,80	10,78	63,48	46,30
Manganeso (mg/kg MS)	1 000	55,04	102,77	16,09	83,07	66,30
Hierro (mg/kg MS)	250	307,91	202,77	198,38	202,99	118,30
Cobre (mg/kg MS)	1 000	8,78	7,68	4,92	13,28	12,82
Yodo (mg/kg MS)	75,00	34,90	21,20	59,60	--	--

SM: suplemento oral de minerales (mezcla 50:50 sal blanca y Pecutrín® vitaminado); CM: cáscara de banana maduro; PP: Pasto King gras picado a 60 días de edad; BR: banana verde de rechazo; D1: alimento balanceado utilizado en la etapa desarrollo 1; D2: alimento balanceado utilizado en la etapa desarrollo 2. Fuente: Rodríguez (2015)

En el Cuadro 4, se muestra un balance nutricional de minerales según el aporte de la dieta descrita en los Cuadros 2 y 3 en comparación con los requerimientos citados en el Cuadro 1. En el Cuadro 4 no se incluye el aporte de minerales la cáscara de banano maduro ya que no se cuenta con el dato exacto porque fue a libre consumo.

Cuadro 4. Balance nutricional de macrominerales (% de MS de la dieta) y microminerales (mg/kg MS) según la dieta suministrada a las novillas.

Ingrediente	Macrominerales							Microminerales				
	MF	MS	Ca	P	Na	K	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	I
<b>Cantidades en dieta (kg)</b>												
Pasto picado	5,0	0,56	0,001	0,001	0,000	0,027	0,001	14,448	57,551	113,551	4,301	11,872
Banano verde de rechazo	15,0	2,69	0,002	0,003	0,000	0,064	0,003	28,960	43,226	532,948	13,218	160,115
Alimento balanceado desarrollo	1,5	1,32	0,002	0,012	0,001	0,024	0,006	83,708	109,540	267,673	17,512	0,000
Total	21,5	4,56	0,005	0,017	0,001	0,116	0,010	127,116	210,317	914,172	35,030	171,987
<b>Cantidades (% MS y mg/kg MS)</b>												
Total, en la dieta	-	-	0,103	0,362	0,031	2,546	0,213	27,845	46,070	200,250	7,673	37,674
Requerimiento del animal	-	-	0,190	0,120	0,060	0,600	0,100	30,000	20,000	50,000	10,000	0,500
Balance	-	-	-0,087	0,242	-0,029	1,946	0,113	-2,155	26,070	150,250	-2,327	37,174

MF: materia fresca, MS: materia seca

Como se observa en el Cuadro 4, las deficiencias minerales no son muy marcadas en el balance realizado, lo cual mejora incluso si se toma en cuenta el total de ingredientes de la dieta.

Cuando se observó que más del 75% de las novillas estaban ciclando (el 77% exactamente), se aplicó un protocolo de sincronización de celo a todas las novillas (Cuadro 5), esto con el propósito de inseminarlas a tiempo fijo. Todas las novillas fueron inseminadas por la misma persona con semen fresco de un toro de la raza Simmental. El semen se extrajo con la ayuda de un electro eyaculador, se evaluó con un microscopio, se preparó y se empacó en las pajillas correspondientes.

Cuadro 5. Descripción de protocolo aplicado a cada una de las novillas para la sincronización de celo.

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Actividad realizada</b>	<b>Ingrediente activo</b>
1	8:00 a.m.	Se colocó dispositivo intravaginal. Se aplicó 2 cc Benzoato Estradiol	Progesterona Benzoato Estradiol
9	8:00 a.m.	Se aplicó 2 cc de Sergon® Se aplicó 2 cc de Dextrogenol® Se aplicó 0,5 cc de SincroCP® Retiro de dispositivo intravaginal.	PMSG- Gonadotropina sérica de yegua preñada PGF2α (cloprostenol) Cipionato de estradiol -
11	2:00 p.m.	Inseminación	-

## 4.2 Tratamientos

En el cuadro 6, se muestra el detalle de los tratamientos utilizados en la investigación.

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos aplicados a las novillas.

Tratamiento	Descripción
CON	Sal banca (NaCl) a libre consumo (grupo control)
SAL	Mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín Vitaminado® a libre consumo. El Pecutrín vitaminado® contiene: de 8 a 10% de calcio, 9% de fósforo, 20 % de sodio, 1,5% de magnesio, 4000 mg/kg de zinc, 750 mg/kg de manganeso, 250 mg/kg de hierro, 1000 mg/kg de cobre, 80 mg/kg de yodo, 15 mg/kg de cobalto, 35 mg/kg de selenio, 150 UI/g de vitamina A, 25 UI/g de vitamina B3, 0,05 UI/g de vitamina E y 25 mg/kg de biotina.
CAT	SAL + 1 ml por cada 20 kg de peso vivo de solución parenteral CAT intramuscular mensualmente. Cada ml de solución parenteral CAT contiene: 100 mg de ácido 1-(N-butilamino)-1-metiletil-fosfónico Butafosbán, 0.05 mg de vitamina B12 y excipientes, cada ml contiene 0,0173 g de fósforo.
CLF	SAL + 1 ml por cada 20 kg de peso vivo de solución parenteral CLF intramuscular mensualmente. Cada ml de solución parenteral CLF contiene: 100 mg de fosforilcolamina (equivalente al ión fosforo 22 mg), 8,20 mg de sulfato de zinc (equivalente al ión zinc 3 mg), 20 mg de yoduro de potasio (equivalente al ión yodo 15 mg), 0,34 mg de selenito de sodio (equivalente al ión selenio 0,10 mg) y 1 ml de excipiente c.s.p.

Los animales con tratamiento CON y SAL recibieron una aplicación mensual de solución salina en la dosis de 1 ml por cada 20 kg de peso vivo. Dicha solución no aportó minerales, solo se hizo con el propósito de someter a estos animales al mismo manejo y estrés que el de los animales de los otros tratamientos.

### **4.3 Diseño experimental**

El diseño experimental se describe a continuación: las 42 novillas se ordenaron de manera creciente según el peso al momento de la compra. Posteriormente fueron clasificadas según sus pesos en seis grupos de cuatro y seis de tres animales. De cada uno de los grupos de cuatro se seleccionó una novilla al azar, la cual conformó el grupo control (tratamiento CON). El grupo control se alojó en un corral aparte (esto se hizo para evitar que consumieran suplemento mineral oral el cual estuvo disponible en los otros corrales).

Una vez separado el grupo control quedaron 12 grupos de tres novillas cada uno, a cada uno de los del grupos se le asignó alguno de los tratamientos SAL, CAT o CLF al azar.

Los del grupo menos pesado se alojaron en un corral, los dos grupos siguientes en orden ascendente de peso en otro corral y así sucesivamente, esto con el propósito de contrarrestar la dominancia de unos animales sobre otros y estimular un acceso equitativo al alimento y al agua.

Los animales del grupo CON se compararon contra los animales del tratamiento SAL pertenecientes al grupo de tres animales de los cuales previamente se extrajeron los que conformaron el grupo control, esto con el fin de eliminar un error al compararlo con animales con pesos y tamaños muy distintos.

Las unidades experimentales están constituidas por cada una de las novillas que recibieron los tratamientos antes descritos.

### **4.4 Obtención de información de las variables medidas**

Los datos se obtuvieron de la siguiente manera:

**Desarrollo de los ovarios:** a partir de los 12 meses de edad, se realizaron ultrasonografías mensuales (por medio de palpación rectal) en las cuales se tomaron medidas de ancho y largo de ambos ovarios, dichas mediciones se reportaron en centímetros (cm), se calculó también el tamaño de los ovarios por medio de un promedio entre el ancho y el largo.



**Presencia o ausencia de estructuras ováricas tales como folículos y cuerpos lúteos:** mediante los ultrasonidos mensuales con el ecógrafo se evaluaron los folículos y cuerpos lúteos que presentaban los animales. Los cuerpos lúteos se midieron en el ancho y el largo (cm), se contó el número de folículos y se les midió el diámetro para clasificarlos en dos categorías: se clasificaron en pequeños y grandes, donde los de un diámetro menor o igual a 10 mm se consideraron pequeños y los mayores de 10mm fueron catalogados como folículos grandes, la información se recolectó en una ficha de campo diseñada para ese fin (Anexo 1).

**Diagnóstico de preñez:** se hizo por medio de ecografía 35 días después de la inseminación. Las vacas que resultaron no preñadas, se sometieron nuevamente al proceso de sincronización, inseminación y diagnóstico bajo las mismas condiciones indicadas anteriormente (Cuadro 5).

#### 4.5 Análisis estadístico

El ancho, largo y tamaño de los ovarios se analizó aplicando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + A_{ij} + E_k + TE_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  corresponde a la medición realizada en la evaluación  $k$ -ma, animal  $j$ -mo y tratamiento  $i$ -mo.

$\mu$  es la media poblacional.

$T_i$  es el efecto del tratamiento  $i$ -mo.  $i= 1, 2, 3$  en el caso de las soluciones parenterales;  $i= 1, 2$  cuando se comparó la solución salina con el testigo (tratamientos orales)

$A_{ij}$  es el error aleatorio (error A) representativo de la variación entre animales con el mismo tratamiento.

$E_k$  es el efecto de la evaluación  $k$ -ma.

$TE_{ik}$  corresponde a la interacción entre el tratamiento  $i$ -mo y la evaluación  $k$ -ma.

$\epsilon_{ijk}$  es el término aleatorio (error B) asociado a  $Y_{ijk}$

Ese modelo se aplicó con una estructura de simetría compuesta heterogénea de la matriz de covarianza de las mediciones repetidas, según la cual las mediciones repetidas (evaluaciones) están igualmente correlacionadas entre si mientras que la varianza entre animales cambia entre evaluaciones.

Para este modelo se usó el programa Proc Mixedd de SAS/STAT, versión 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2011). El Cuadro 7 muestra las fuentes de variación y los grados de libertad correspondientes al análisis de varianza.

Cuadro 7. Fuentes de variación y grados de libertad del análisis de varianza de los datos de los tratamientos parenterales (los grados de libertad cambian en el análisis).

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	2
Error A	33
Evaluaciones	6
Tratamientos x evaluaciones	12
Error B	189
Total	242

El ancho, largo y tamaño de cuerpos lúteos, así como el número de folículos y los datos de pubertad se analizó con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  corresponde a la medición del animal  $j$ -mo, según el tratamiento  $i$ -mo

$\mu$  es la media poblacional

$T_i$  es el efecto del tratamiento *i*-mo,  $i= 1, 2, 3$  en el caso de las soluciones parenterales;  $i= 1, 2$  cuando se comparó la solución salina con el testigo (tratamientos orales)

$\epsilon_{ij}$  es el error experimental asociado a la medición  $Y_{ij}$ ; Corresponde a la variación entre animales del mismo tratamiento.

Para este modelo se usó el programa Proc GLM de SAS/STAT, versión 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2011). Las fuentes de variación de este análisis comprenden solamente las dos primeras fuentes del Cuadro 7.

Para los dos modelos descritos anteriormente, los tratamientos fueron contrastados usando una prueba *t* de Student para muestras independientes, declarando significativas las diferencias si  $P \leq 0,05$ .

Para los datos de frecuencia de preñez se usó la prueba exacta de Fischer, debido a que las muestras fueron muy pequeñas. Se usó el programa Proc Freq de SAS, versión 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2011).

En el transcurso del ensayo se excluyeron tres novillas de la muestra: una del grupo CON, una de SAL y una de CLF. Se tomó en cuenta el momento de la salida de cada una para el análisis estadístico de los datos, es por esto que en ocasiones  $n= 11$  o  $12$  para los tratamientos parenterales y  $n= 5$  o  $6$  para los tratamientos orales.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis de los animales en los que se evaluó la suplementación mineral inyectada.

#### 5.1.1 Desarrollo de ovarios de los animales sometidos a tratamientos parenterales.

En la Figura 1, se muestra la comparación gráfica de los valores promedio del crecimiento del ancho del ovario derecho (AOD) en las novillas de los tres tratamientos parenterales, obtenidas de manera mensual a partir de una edad aproximada de 12 meses.

Para cada una de las evaluaciones mensuales se muestra un valor de error estándar (para todos los tratamientos) esto porque en el análisis de varianza por lo general se asume que las varianzas de los tratamientos son iguales, por lo que los errores estándares también son iguales<sup>2</sup>.

Para la mayoría de las mediciones realizadas al ancho y largo de los ovarios no se encontró una diferencia significativa en el crecimiento de ancho de ovario derecho entre cada tratamiento (P evaluación 1: 0,081, P evaluación 2: 0,0448, P evaluación 3: 0,4863, P evaluación 4: 0,4965, P evaluación 5: 0,8742, P evaluación 6: 0,3352, P evaluación 7: 0,8461). Únicamente en la segunda evaluación (13 meses de edad) se observó diferencia entre las medias mostradas para ancho de ovario derecho de cada uno de los tratamientos (P = 0,0448), en donde, CLF mostró un promedio de 1,49 cm, mientras que CAT y SAL mostraron 1,45 cm y 1,30 cm respectivamente.

Como se observa en las ecuaciones de la Figura 1, las pendientes a lo largo del periodo evaluado oscilaron entre 0,0804 y 0,1175 cm, el promedio del crecimiento mensual de AOD fue de 0,1008 cm independientemente del tratamiento.

---

<sup>2</sup> M.Sc. Fabio Blanco Rojas, especialista en Biometría. Comunicación personal noviembre 2016.

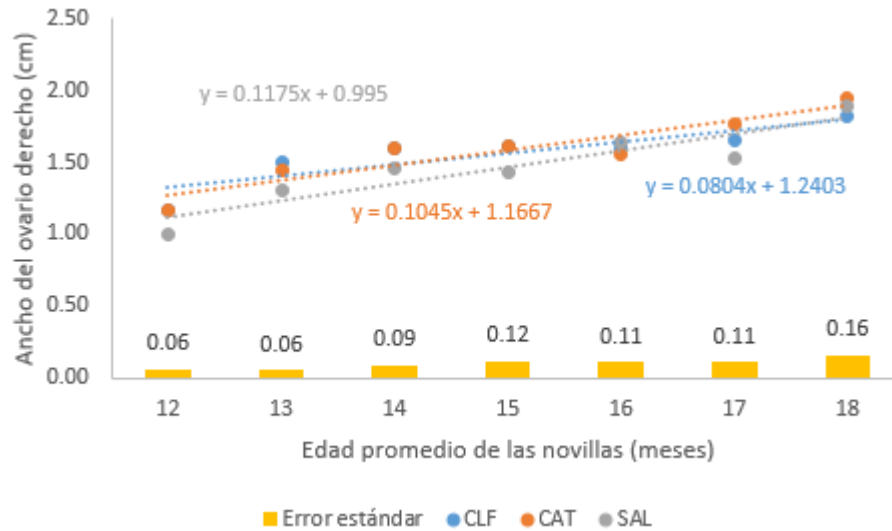


Figura 1. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de ancho de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

En cuanto a las medidas realizadas al largo del ovario derecho (LOD) que se muestran en la Figura 2, solo se obtuvo diferencia significativa en el promedio obtenido en la segunda evaluación ( $P = 0,0031$ ), en donde los animales con el tratamiento CLF mostraron un valor superior (2,67 cm), seguidos por CAT con un promedio de largo de ovario derecho de 2,55 cm y luego SAL con una longitud de 2,14 cm. Los valores de significancia estadística para todas las evaluaciones mostradas en el gráfico de la Figura 2 fueron: P evaluación 1: 0,0868, P evaluación 2: 0,0031, P evaluación 3: 0,2556, P evaluación 4: 0,7272, P evaluación 5: 0,6585, P evaluación 6: 0,7004 y P evaluación 7: 0,1822.

Para el LOD el promedio del crecimiento mensual de los tres tratamientos evaluados fue de 0,1604 cm. Como se observa en la Figura 2, las pendientes oscilaron entre 0,121 y 0,2002 cm.

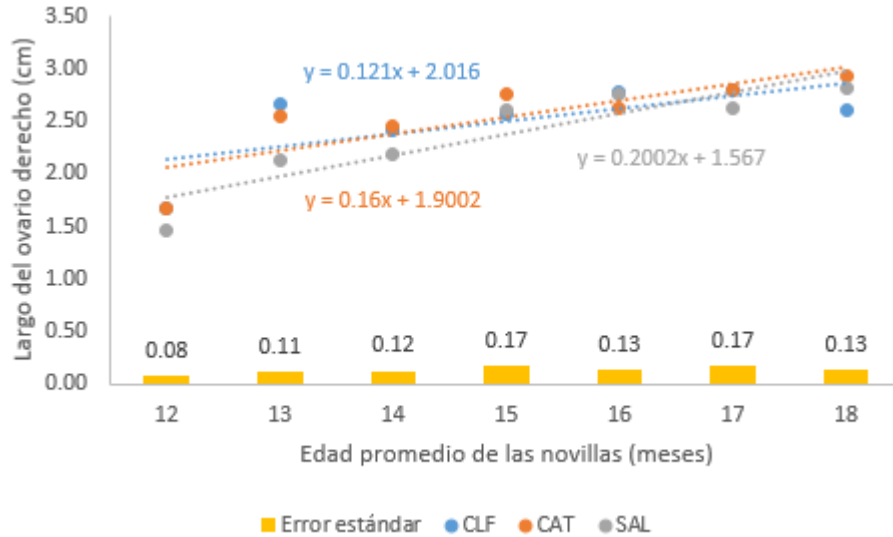


Figura 2. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de largo del ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

Con respecto a los valores obtenidos en la medición del ancho del ovario izquierdo (AOI), se observó que durante todo el experimento no se obtuvo una diferencia significativa en las medias para cada tratamiento parenteral (P evaluación 1: 0,3817, P evaluación 2: 0,8856, P evaluación 3: 0,6526, P evaluación 4: 0,8837, P evaluación 5: 0,1962, P evaluación 6: 0,2807 y P evaluación 7: 0,0605). El comportamiento observado del crecimiento de ancho de ovario izquierdo en cada una de las evaluaciones se muestra en la Figura 3.

Como se observa en la Figura 3, para el AOI, las pendientes a lo largo de las siete evaluaciones oscilaron entre 0,078 y 0,1197 cm, siendo el promedio de crecimiento mensual de AOI de 0,093 cm para los animales que recibieron los tratamientos parenterales.

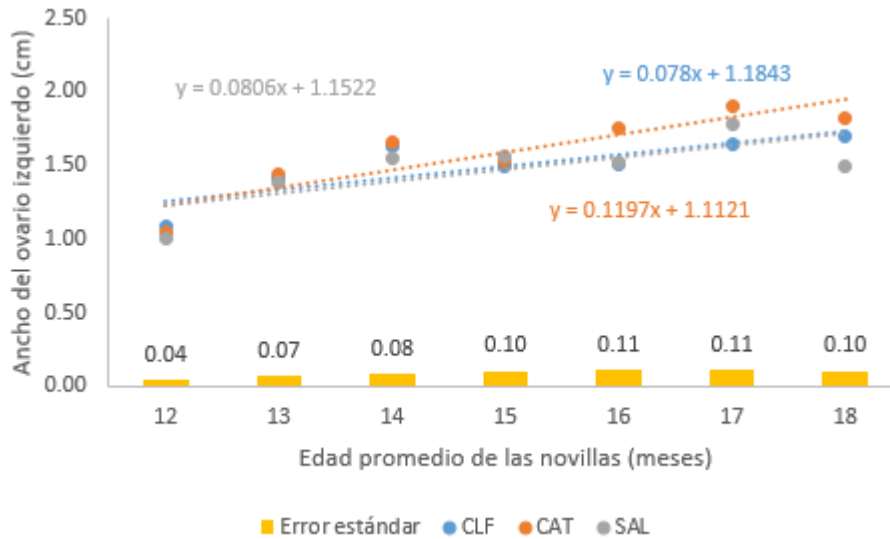


Figura 3. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de ancho del ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

De igual manera que los datos expuestos en la Figura 3, los valores que corresponden al largo del ovario izquierdo (LOI) (Figura 4), no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos conforme se realizaban las evaluaciones (P evaluación 1: 0,2999, P evaluación 2: 0,1807; P evaluación 3: 0,2478, P evaluación 4: 0,6665, P evaluación 5: 0,9825, P evaluación 6: 0,4158 y P evaluación 7: 0,3551). Para esta medida, el valor promedio de crecimiento mensual fue de 0,16 cm.

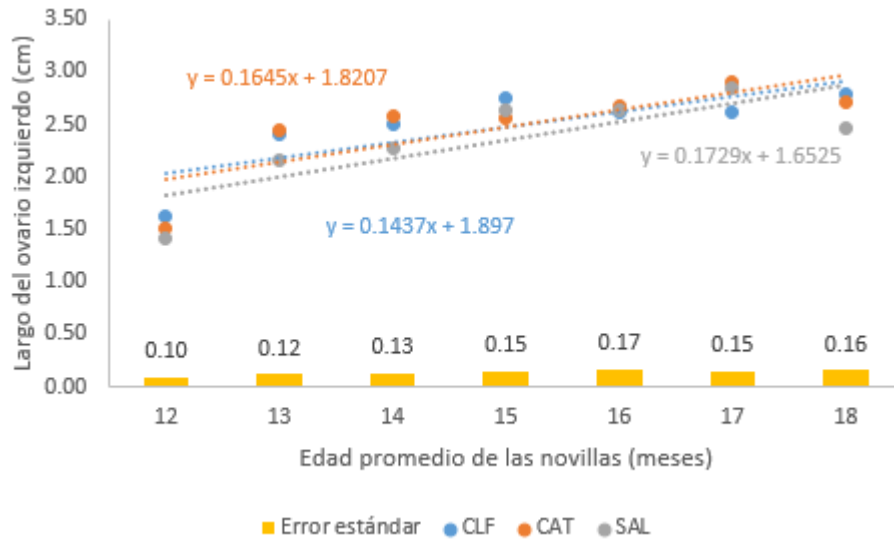


Figura 4. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de largo de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

Como detalla la metodología, para el cálculo del tamaño de los ovarios, se realizó un promedio entre los valores del largo y el ancho de cada uno de los ovarios. En la Figura 5, se muestra un gráfico con el comportamiento general del tamaño del ovario derecho (TOD) que presentaron los animales de cada uno de los tratamientos inyectados. Para el tamaño de ovario derecho, se observó una diferencia significativa en las primeras dos mediciones. En donde para la evaluación uno ( $P = 0,0202$ ) los tratamientos CLF y CAT mostraron el mismo valor de medida (1,42 cm), los cuales fueron superiores al mostrado por los animales del tratamiento SAL que presentaron un tamaño de ovario derecho de 1,23 cm. En la segunda evaluación ( $P = 0,0018$ ), los animales que mostraron en promedio un mayor tamaño en ovarios derechos (2,08 cm) fueron los del tratamiento CLF, seguidos por los animales con tratamiento CAT (2,00 cm) y la menor medida la presentaron los animales expuestos a SAL cuya media para la segunda evaluación fue de 1,72 cm. Para el resto de las evaluaciones el valor de P ( $P$  evaluación 3: 0,2346,  $P$  evaluación 4: 0,6973,  $P$  evaluación 5: 0,7571,  $P$  evaluación 6: 0,5133 y  $P$  evaluación 7: 0,3818) descarta una diferencia significativa para el tamaño de ovarios derechos entre los tratamientos en dichas evaluaciones.



Como se observa en las ecuaciones de la Figura 5, el crecimiento mensual promedio de TOD de 0,13 cm independientemente del tratamiento recibido.

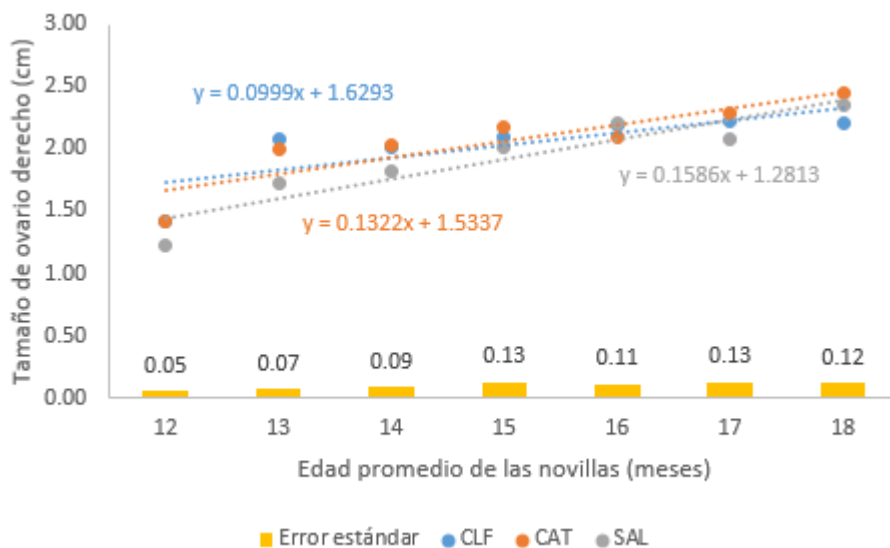


Figura 5. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de tamaño de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

Al analizar los datos del tamaño del ovario izquierdo (TOI), todos los valores de P fueron mayor a 0,05 (P evaluación 1: 0,1214, P evaluación 2: 0,3006, P evaluación 3: 0,2341, P evaluación 4: 0,8525, P evaluación 5: 0,6805, P evaluación 6: 0,2692 y P evaluación 7: 0,2113) por lo que no se presentó diferencias significativa en las medias de tamaño entre los tratamientos durante las mediciones realizadas. El crecimiento de TOI mensual promedio de los tres tratamientos fue de 0,1267 cm, siendo el valor menor 0,1105 cm y el mayor 0,1421 cm. El comportamiento mostrado para tamaño de ovario izquierdo durante las siete mediciones para cada uno de los tratamientos parenterales se muestra en la Figura 6.

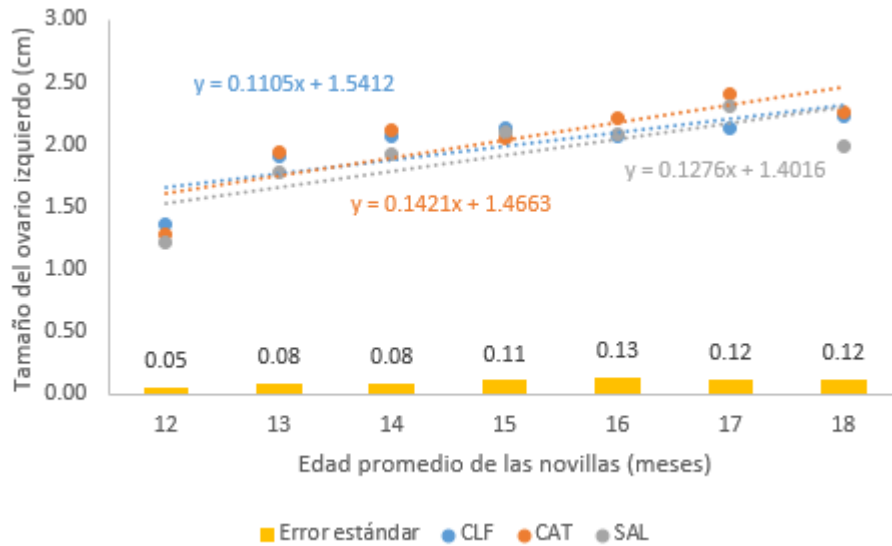


Figura 6. Medias (indicadas por puntos, n= 11 o 12) de tamaño de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos parenterales y sus errores estándar asociados (barras).

Como se observa de la Figura 1 hasta la Figura 6, que corresponden a las medidas del ancho, largo y el tamaño de los ovarios, la tendencia de crecimiento concuerda con lo expuesto por Pedroso *et al.* (2013), quienes indican que es de esperarse un desarrollo de los componentes anatómicos del tracto reproductivo conforme desarrolla el animal. Dicho desarrollo se incrementa considerablemente en el momento de la pubertad.

Un aspecto que llama la atención es que en algunas evaluaciones, la media reportada para las magnitudes ováricas es menor a la evaluación anterior, como que se estuviera ante una disminución en la dimensión. Tal es el caso de la Figura 1, en donde se aprecia una reducción en la media reportada para ancho de ovario derecho entre las evaluaciones 5 y 6 (entre los 16 y 18 meses de edad) para los animales del tratamiento SAL. Dicha disminución puede justificarse según lo indicado por Pesántez (2015), quien deja claro que las dimensiones de los ovarios varían según las condiciones del ciclo estral en las que esté el animal. Por ejemplo, Hafez y Hafez (2002), recalcan que el patrón vascular cambia conforme lo hacen las condiciones hormonales del animal, lo cual causa variantes en el flujo sanguíneo mostrando

inflamación en diferentes etapas del ciclo estral, lo cual concuerda con lo publicado por Sánchez (2011), quien comenta que las características morfológicas de los ovarios cambian en función de la fase del ciclo estral.

En el Cuadro 8, se muestran los datos correspondientes al promedio obtenido en la última evaluación realizada de las dimensiones ováricas de las novillas que recibieron tratamientos parenterales, esto con el fin de comparar las medias obtenidas al final de los tratamientos. Sin embargo, como se observa en los valores correspondientes de P, no hubo diferencias significativas en las medias para la última evaluación del experimento ( $P > 0,05$ ).

Cuadro 8. Medias  $\pm$  errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones ováricas obtenidas en la última evaluación (edad aproximada 18 meses) de las novillas (n=11 o 12) sometidas a tratamientos parenterales.

Variable	Tratamientos			Valor de P
	CLF	CAT	SAL	
AOD	1,82 $\pm$ 0,16	1,94 $\pm$ 0,15	1,88 $\pm$ 0,16	0,8441
LOD	2,61 $\pm$ 0,12	2,94 $\pm$ 0,12	2,81 $\pm$ 0,12	0,1856
AOI	1,69 $\pm$ 0,10	1,81 $\pm$ 0,09	1,50 $\pm$ 0,10	0,0880
LOI	2,79 $\pm$ 0,16	2,71 $\pm$ 0,16	2,44 $\pm$ 0,16	0,3163
TOD	2,21 $\pm$ 0,11	2,44 $\pm$ 0,11	2,35 $\pm$ 0,11	0,3727
TOI	2,24 $\pm$ 0,12	2,26 $\pm$ 0,12	1,97 $\pm$ 0,12	0,2024

AOD: ancho ovario derecho, LOD: largo ovario derecho, AOI: ancho ovario izquierdo, LOI: largo del ovario izquierdo, TOD: tamaño del ovario derecho, TOI: tamaño del ovario izquierdo, CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

Los datos que corresponden a los tamaños de ovarios que se indican en el Cuadro 8, se encuentran entre los rangos obtenidos (largo  $3,01 \pm 0,74$  y ancho  $1,23 \pm 0,36$  cm) en una investigación realizada por Hernández *et al.* (2014), quienes concluyeron que esas medidas se asemejan bastante a las obtenidas en ganado de leche, sin embargo, difieren de valores obtenidos en algunas investigaciones realizadas en ganado cebú.

Lo anterior es un buen indicador porque a pesar de no haber obtenido diferencias significativas entre las medidas ováricas de los tratamientos parenterales, se sabe que bajo las condiciones del tratamiento se logró un desarrollo ovárico similar al reportado en otras investigaciones. Lo cual es importante porque de acuerdo con lo expuesto por González y De la Fuente (2012), se ha comprobado que el desarrollo del útero y ovarios, se asocia con el inicio de la pubertad y por lo tanto con la eficiencia reproductiva en novillas de distintas razas cárnicas.

### 5.1.2 Estructuras ováricas de los animales sometidos a tratamientos parenterales

En el Cuadro 9, se detalla el valor de las medias obtenidas para el ancho y el largo de los cuerpos lúteos que mostraron los animales de cada tratamiento durante todo el estudio. Como se observa en dicho cuadro, no hubo diferencias significativas para las medidas realizadas en esta estructura ovárica ( $P > 0,05$ ).

Cuadro 9. Medias de ancho y largo (cm) de cuerpos lúteos, para los animales sometidos a los tratamientos parenterales (n=11 o 12), error estándar estimado y significancia estadística (valor de P).

Variable	Tratamientos			Error estándar	Valor de P
	CLF	CAT	SAL		
ACL0D	1,68	1,84	1,66	0,10	0,4196
LCLOD	2,10	2,15	2,14	0,10	0,9288
ACLOI	1,58	1,60	1,70	0,10	0,7043
LCLOI	2,01	1,98	2,12	0,17	0,7136

ACL0D: ancho del cuerpo lúteo en ovario derecho, LCLOD: largo del cuerpo lúteo del ovario derecho, ACLOI: ancho del cuerpo lúteo en ovario izquierdo, LCLOI: largo del cuerpo lúteo del ovario izquierdo, CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

Con el fin de atribuir posibles diferencias ante tratamientos al final del estudio, se analizó individualmente los datos obtenidos para las dimensiones de cuerpos lúteos durante la última evaluación realizada. Dichos valores se muestran en el Cuadro 10, sin embargo, con base a los valores de P mostrados, no se presentó ninguna diferencia

significativa en las dimensiones de cuerpos lúteos entre tratamientos en la última evaluación.

Los resultados del Cuadro 10 difieren con los obtenidos por Tenjo y Cardona (2008), quienes sí observaron asociación entre el funcionamiento ovárico (incluyendo el tamaño de CL) en vacas suplementadas parenteralmente con I, Se y Cu en comparación con las vacas del grupo control.

Cuadro 10. Medias  $\pm$  errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones de los cuerpos lúteos obtenidas en la última evaluación de las novillas (edad promedio 18 meses) sometidas a tratamientos parenterales (n= 11 o 12).

Variable	Tratamientos			Valor de P
	CLF	CAT	SAL	
ACLOD	1,68 $\pm$ 0,13	1,75 $\pm$ 0,15	1,72 $\pm$ 0,11	0,9330
LCLOD	2,20 $\pm$ 0,13	2,00 $\pm$ 0,15	2,06 $\pm$ 0,11	0,5872
TCLOD	1,94 $\pm$ 0,12	1,88 $\pm$ 0,13	1,90 $\pm$ 0,10	0,9318
ACLOI	1,61 $\pm$ 0,17	1,50 $\pm$ 0,16	1,22 $\pm$ 0,25	0,4629
LCLOI	1,96 $\pm$ 0,26	1,69 $\pm$ 0,23	1,50 $\pm$ 0,36	0,5758
TCLOI	1,78 $\pm$ 0,21	1,60 $\pm$ 0,19	1,36 $\pm$ 0,30	0,5364

ACLOD: ancho del cuerpo lúteo en ovario derecho, LCLOD: largo del cuerpo lúteo del ovario derecho, TCLOD: tamaño del cuerpo lúteo en ovario derecho, ACLOI: ancho del cuerpo lúteo en ovario izquierdo, LCLOI: largo del cuerpo lúteo del ovario izquierdo, TCLOI: tamaño del cuerpo lúteo ovario izquierdo, CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

Se contabilizó la presencia de folículos ováricos, se clasificaron en la medición que se hizo cada mes, con el fin de comparar la cantidad de dichas estructuras ováricas de los animales con diferentes tratamientos parenterales. Solo se muestran valores correspondientes a folículos pequeños (diámetro  $\leq$ 10 mm) ya que la cantidad de folículos catalogados como grandes (diámetro  $>$ 10 mm) que se observaron durante la investigación fue muy poca para realizar el análisis estadístico.

Como se muestra en el Cuadro 11, tanto para el ovario derecho ( $P = 0,1146$ ) como para el ovario izquierdo ( $P = 0,0826$ ) los resultados fueron similares entre tratamientos con respecto a la cantidad de estas estructuras foliculares observadas.

Cuadro 11. Medias  $\pm$  errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios observados en las novillas sometidas a tratamientos parenterales ( $n= 11$  o  $12$ ).

	Cantidad de folículos por tratamiento			Valor de P
	CLF	CAT	SAL	
Ovario derecho	10,35 $\pm$ 0,73	11,32 $\pm$ 0,64	9,24 $\pm$ 0,76	0,1146
Ovario izquierdo	10,71 $\pm$ 1,01	11,64 $\pm$ 0,84	8,72 $\pm$ 1,00	0,0826

CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

Un caso con resultados contrarios a los mostrados en el Cuadro 11 fue el publicado por Reis *et al.* (2012) en Brasil, en donde se utilizó un suplemento de fósforo (en forma de butafosfán) y cianocobalamina en vacas de la raza Gyr donantes de embriones. Los resultados indican que se recuperó 26% más de ovocitos totales, 57% más de ovocitos viables y se produjo 59% más de embriones *in vivo*, en comparación con vacas que no fueron suplementadas. Sin embargo, es importante mencionar que en dicho experimento no hubo diferencias significativas en las tasas de preñez con los embriones obtenidos de las vacas tratadas y las no tratadas (44,4% y 42,6% de preñez respectivamente).

### 5.1.3 Pubertad de los animales pertenecientes a los diferentes grupos de tratamientos parenterales

En el análisis para estimar el tiempo aproximado en el cual las novillas alcanzaron la pubertad (que corresponde a la observación del primer cuerpo lúteo) se obtuvo que: las novillas que recibieron CLF alcanzaron la pubertad 222,00  $\pm$ 14,54 días después de iniciado el tratamiento parenteral, mientras que las novillas de los tratamientos CAT y SAL presentaron valores de 232,33  $\pm$ 14,54 días y 204,89  $\pm$ 14,54 días respectivamente después de iniciados los tratamientos.

En el Cuadro 12, se muestra la edad aproximada en meses (tomando en cuenta la edad promedio a la cual se adquirieron las novillas) en la que las novillas de los diferentes tratamientos alcanzaron la pubertad.

Cuadro 12. Medias  $\pm$  errores estándar estimado (meses) y significancia estadística (valor de P) de la edad en meses a la cual las novillas de los diferentes tratamientos parenterales mostraron la pubertad (n= 11 o 12).

Variable	Tratamientos			Valor de P
	CLF	CAT	SAL	
EP (meses)	15,28 $\pm$ 0,48	15,62 $\pm$ 0,48	14,72 $\pm$ 0,48	0,4162

EP: edad a la pubertad, CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

De acuerdo con Salazar *et al.* (2013), a nivel mundial en la producción ganadera, se trabaja con la meta de lograr edad a primer parto de 24 meses, lo cual implica una reducción en los costos de producción, por lo tanto, para lograr esto es necesario preñar a las novillas a los 15 meses de edad y para que esto sea posible se debe alcanzar la pubertad antes de dicha edad (entre los 13 y 15 meses de edad).

Como se observa en el Cuadro 12, no hay diferencias significativas en la edad a la cual presentaron la pubertad las novillas de los diferentes tratamientos parenterales (P = 0,4162). Sin embargo, tomando en cuenta los datos de EP mostrados en el Cuadro 12, se observa que dichos valores de edad a la pubertad se acercan al valor ideal mencionados por Salazar *et al.* (2013).

En los hatos ganaderos de producción cárnica de la región Atlántica de Costa Rica se reportan valores promedio de edad a primer parto de 38,1 meses (Casas y Tewolde 2001) y en la región Chorotega oscilan entre 39 y 45 meses (Méndez, 2008), lo cual corresponde a valores sumamente altos de pubertad en comparación con los obtenidos en esta investigación.

Debido a esto, queda claro que, a pesar de no haber diferencias significativas sobre edad a la pubertad entre los tratamientos aplicados, en este experimento, se alcanzó la pubertad en edades aceptables para un buen desempeño de la reproducción. Esto es importante porque una pubertad a edades tempranas aumenta

la posibilidad de menores edades a primer parto, lo cual favorece la selección de reemplazos, los índices productivos (más terneros y/o leche) una vida productiva más larga de las vacas, lo cual beneficiará de manera directa la rentabilidad del sistema (Salazar *et al.* 2013).

En un estudio realizado por Salazar *et al.* (2013), con datos de 46.029 animales de raza Holstein de lecherías especializadas en Costa Rica, se concluyó que la edad a primer parto presentó diferencias significativas al agrupar los animales en estratos según la época del año en que nacieron, la zona ecológica a la que pertenecía el animal y el número de parto de la madre. Es por esto que los autores indican que las variables de animal, tiempo y ambiente ejercen un efecto sobre edad a primer parto y por lo tanto se asume que también sobre edad a la pubertad, lo cual justifica por qué los datos mostrados en el Cuadro 12 no se observan diferencias significativas, pues muchos otros factores (aparte del evaluado en los tratamientos) influyen sobre edad a la pubertad y las novillas desde su nacimiento estuvieron bajo condiciones iguales.

#### **5.1.4 Preñez de los animales sometidos a tratamientos parenterales**

En el Cuadro 13, se muestran los porcentajes de preñez para los animales de los tratamientos parenterales. Los datos mostrados corresponden a los diagnósticos de preñez obtenidos en cada una de las inseminaciones descritas en la metodología del experimento. Como se puede observar en dicho cuadro, a pesar de la diferencia numérica en los porcentajes correspondientes al segundo diagnóstico, no se obtuvo diferencias significativas en la preñez para los diferentes tratamientos ( $P = 0,0845$ ).



Cuadro 13. Porcentajes de preñez y significancia estadística (valor de P) obtenidos en el primer y segundo diagnóstico de preñez realizada en los grupos de animales que recibieron tratamiento parenteral (n= 11 o 12).

	Tratamiento			Valor de P
	CLF	CAT	SAL	
Porcentaje de preñez PD (%)	45,45	58,33	54,55	0,9105
Porcentaje de preñez SD (%)	100,00	66,67	63,64	0,0845

PD: primer diagnóstico de preñez, SD: segundo diagnóstico de preñez (% de preñez acumulado). CLF: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CLF", CAT: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo del producto "CAT", SAL: Tratamiento inyectado, 1 ml/20 kg de peso vivo de solución salina.

La conclusión que generan los valores de P en el Cuadro 13 no concuerda con lo obtenido en un estudio realizado en Honduras con 44 vacas de las razas Holstein, Jersey y Pardo, en el cual se sometió un grupo a suplementación parenteral CAT, otro grupo con CLF y otras fueron el grupo control, todas las vacas se sincronizaron con dispositivos intravaginales. Las vacas tratadas con CLF presentaron mayor porcentaje de preñez acumulado, además, se observó una disminución en los días abiertos en comparación con las vacas tratadas con CAT (Madrid y Matamoros 2013).

Los resultados presentados por Madrid y Matamoros (2013), llaman la atención ante los obtenidos en esta investigación porque se trabajó con condiciones de los tratamientos muy similares. La diferencia entre ambos estudios puede justificarse con lo expuesto por Salazar *et al.* (2013), quienes indican que existen muchos factores específicos para cada caso (condiciones ambientales) que ejercen efectos sobre las variables de interés, entre esos factores se puede mencionar la suplementación oral y la dieta que recibían las novillas asignadas a los distintos tratamientos parenterales.

Lo anterior concuerda con lo expuesto por Campabadal (2009), quien además indica que del total de los problemas reproductivos que presenta los sistemas de producción de ganado de carne, tan solo un 6% de los asociados a deficiencias nutricionales corresponden a carencia de minerales.

Otro aspecto que llama la atención al analizar los datos expuestos en el Cuadro 13, es el de no haber obtenido diferencias significativas a pesar de la notoria diferencia

numérica entre tratamientos en el porcentaje de preñez acumulada. Lo anterior puede deberse a lo que indica Gómez (2010), quien aclara que muestras de mayor tamaño generan resultados de mayor confianza representativa, por lo que una cantidad de animales como la utilizada en este estudio puede considerarse pequeña y arrojar resultados con menor confianza representativa.

## 5.2 Análisis de los animales en los que se evaluó la suplementación mineral oral.

### 5.2.1 Desarrollo de los ovarios en animales sometidos a tratamientos orales

Al analizar los datos de ancho del ovario derecho de los animales con tratamientos orales, se obtuvo que no hay diferencias significativas en esta medición (P evaluación 1: 0,2886, P evaluación 2: 0,5401, P evaluación 3: 0,4893, P evaluación 4: 0,1531, P evaluación 5: 0,3856, P evaluación 6: 0,8293 y P evaluación 7: 0,8697).

Los valores de las pendientes en las ecuaciones de la Figura 7, indican que el crecimiento mensual promedio de AOD para los animales sometidos a tratamientos orales fue de 0,1059 cm. El aumento de esta medida para estos animales a lo largo del experimento se representa en el gráfico de la Figura 7.

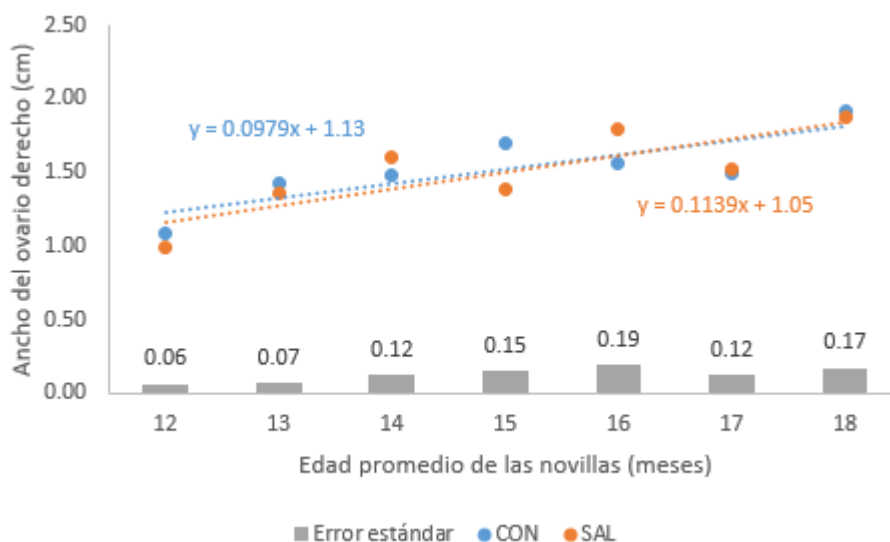


Figura 7. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de ancho de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

En los valores de largo de ovario derecho para los animales con tratamientos orales (Figura 8), se observó diferencia significativa en las primeras tres mediciones, siendo P evaluación 1= 0,0149, P evaluación 2= 0,0183 y P evaluación 3 = 0,0186. Para las tres mediciones se observaron menores medidas de largo de ovario derecho en las novillas con tratamiento SAL en comparación con las del grupo CON. Los valores de significancia estadística para las siguientes evaluaciones fueron: P evaluación 4: 0,4334, P evaluación 5: 0,3806, P evaluación 6: 0,5516 y P evaluación 7: 0,5028.

Las pendientes a lo largo de la evaluación de LOD oscilaron entre 0,1029 y 0,2211 cm. Siendo el promedio mensual de crecimiento de LOD de 0,162 cm independiente mente del tratamiento.

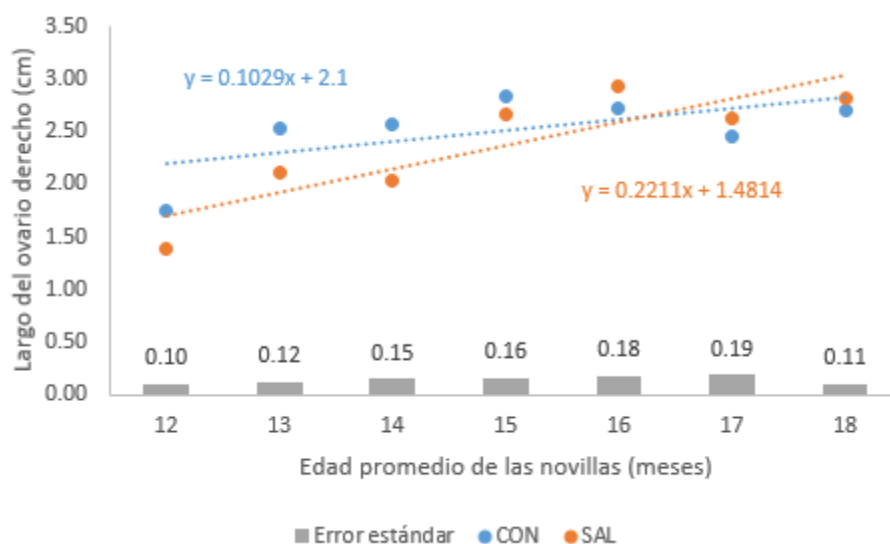


Figura 8. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de largo del ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

En la Figura 9, se muestra el comportamiento de los datos obtenidos para ancho ovario izquierdo de los animales con tratamientos orales. En el análisis de dichos datos, no se obtuvieron diferencias significativas entre los valores promedios de ambos grupos de animales (P evaluación 1: 0,3503, P evaluación 2: 0,8121, P evaluación 3: 0,7415, P evaluación 4: 0,5605, P evaluación 5: 0,7783, P evaluación 6: 0,9618 y P evaluación 7: 0,0833).

Como lo indican las ecuaciones de la Figura 9, el valor promedio correspondiente al crecimiento mensual de AOI independientemente del tratamiento fue de 0,0827 cm.

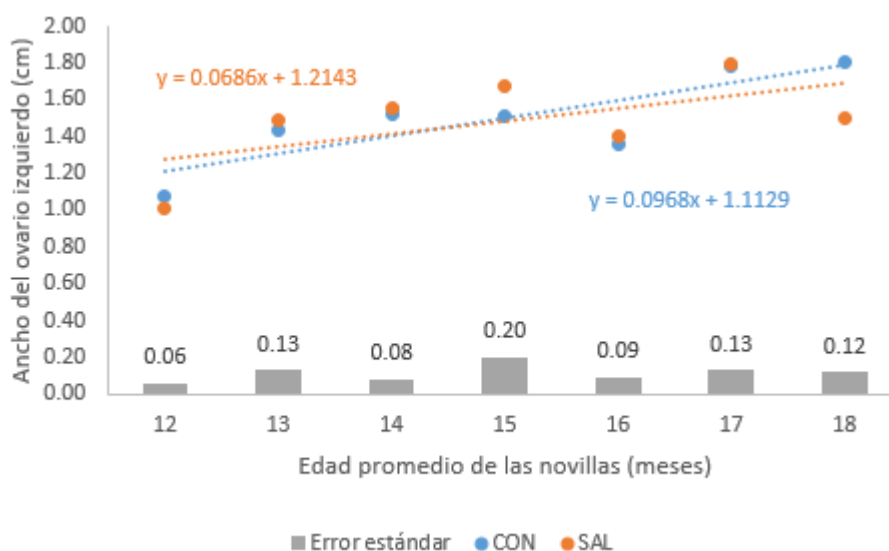


Figura 9. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de ancho de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

Para el análisis de las medias de largo de ovario izquierdo de los animales con tratamiento oral, se obtuvieron diferencias significativas únicamente en la tercera medición (P evaluación 3: 0,0206). En dicho evento, el grupo de animales que mostró una media mayor fue el del grupo CON (2,48 cm), la media de los animales del grupo SAL fue de 2,05 cm para largo de ovario izquierdo. Los valores de significancia estadística para las demás evaluaciones fueron los siguientes: P evaluación 1: 0,4357, P evaluación 2: 0,2702, P evaluación 4: 0,6315, P evaluación 5: 0,3775, P evaluación 6: 0,7961 y P evaluación 7: 0,3226.

En la Figura 10, se observa la comparación de los valores promedio del largo de ovario izquierdo de los grupos de animales tratados oralmente durante las diferentes evaluaciones. Para estas evaluaciones, las pendientes oscilaron entre 0,1218 y 0,1543 cm, el promedio de crecimiento de LOI entre evaluación fue 0,1380 cm independientemente del tratamiento.

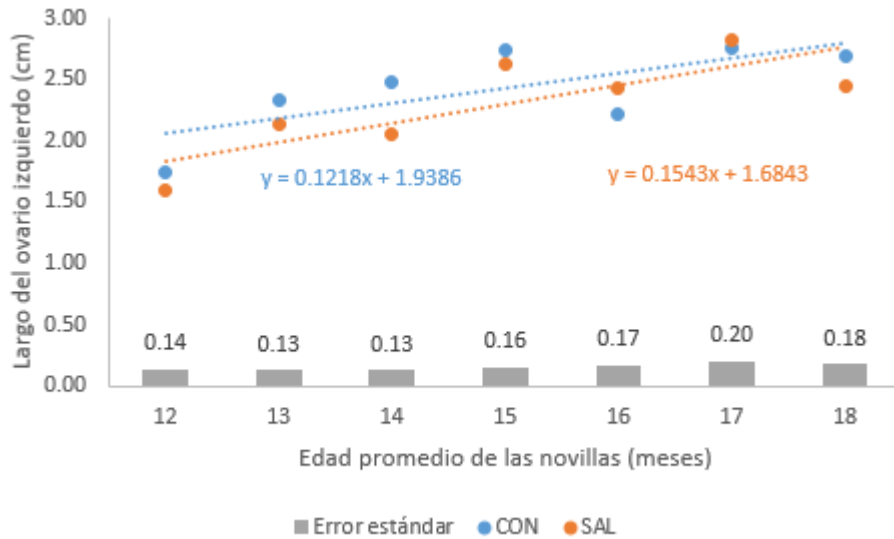


Figura 10. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de largo de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

En cuanto al análisis del tamaño de ovarios derechos realizado con los datos obtenidos de los animales con los tratamientos SAL y CON, solo se observó una diferencia significativa en la primera evaluación (P evaluación 1 = 0,0209), siendo los animales del grupo CON superior en promedio (0,24 cm) en comparación con los animales del tratamiento SAL. Los valores de significancia estadística para las demás evaluaciones fueron: P evaluación 2: 0,0503, P evaluación 3: 0,2163, P evaluación 4: 0,2291, P evaluación 5: 0,3676, P evaluación 6: 0,6327 y P evaluación 7: 0,8427. La representación gráfica de los datos para esta comparación, se muestran en la Figura 11.

Como se observa en la Figura 11, el crecimiento mensual promedio de TOD fue de 0,133 cm ya que las pendientes a lo largo del tiempo de medición oscilaron entre 0,0989 y 0,1671.

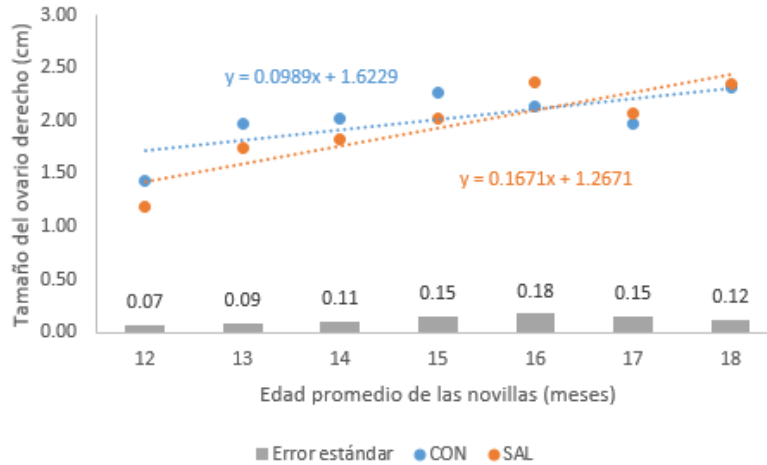


Figura 11. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de tamaño de ovario derecho obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

Con respecto a las medias del tamaño de ovario izquierdo de los tratamientos orales (Figura 12), no se obtuvo en ninguna evaluación una diferencia significativa entre los animales de ambos tratamientos (P evaluación 1: 0,3122, P evaluación 2: 0,6086, P evaluación 3: 0,1169, P evaluación 4: 0,9134, P evaluación 5: 0,4364, P evaluación 6: 0,8439 y P evaluación 7: 0,1465). En las ecuaciones del TOI las pendientes oscilaron entre 0,1089 y 0,1125, lo que significa que el crecimiento promedio mensual de TOI independientemente del tratamiento oral evaluado fue de 0,1107 cm.

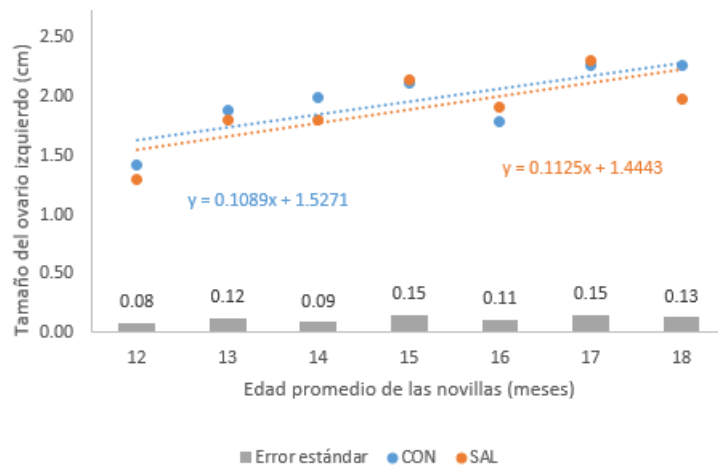


Figura 12. Medias (indicadas por puntos, n= 5 o 6) de tamaño de ovario izquierdo obtenidas en siete evaluaciones de los tratamientos orales y sus errores estándar asociados (barras).

Al igual que en los tratamientos parenterales, en las figuras anteriores se observan declives en el crecimiento de los ovarios para las novillas a las cuales se le evaluaron tratamientos orales. La razón por la cual en algunas ocasiones los ovarios muestran promedios de medidas inferiores a la medida anterior es la mencionada por Condo *et al.* (2015), quienes afirman que la forma y las dimensiones de un ovario en bovinas varía dependiendo de la etapa del ciclo estral. Un claro ejemplo de lo anterior es el declive en tamaño de ovario izquierdo que se observa entre las evaluaciones 4 y 5 (entre los meses 15 y 16 de edad) del gráfico de la Figura 12.

Sin embargo, es importante mencionar que en todas las variables evaluadas en los gráficos se mantiene una tendencia creciente, lo que se considera bueno ya que no se está ante la presencia de un crecimiento inadecuado lo cual se ha demostrado que ocurre ante deficiencias serias de minerales (Fernández 2014).

En el Cuadro 14, se muestran los datos de la última evaluación en la que se tomaron medidas de las dimensiones ováricas de las novillas que recibieron tratamientos orales. Como se observa en dicho cuadro, no se presentaron diferencias significativas en las dimensiones ováricas para la última evaluación del experimento ( $P > 0,05$ ).

Cuadro 14. Medias  $\pm$  errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones ováricas obtenidas en la última evaluación (edad promedio 18 meses) de las novillas (n= 5 o 6) sometidas a tratamientos orales.

Variables	Medidas (cm) para los tratamientos		Valor de P
	CON	SAL	
AOD	2,11 $\pm$ 0,19	1,89 $\pm$ 0,19	0,4245
LOD	2,62 $\pm$ 0,21	2,89 $\pm$ 0,21	0,3873
AOI	1,97 $\pm$ 0,19	1,47 $\pm$ 0,19	0,1064
LOI	2,81 $\pm$ 0,28	2,57 $\pm$ 0,25	0,5444
TOD	2,37 $\pm$ 0,14	2,39 $\pm$ 0,14	0,9107
TOI	2,31 $\pm$ 0,21	2,02 $\pm$ 0,21	0,3653

AOD: ancho ovario derecho, LOD: largo ovario derecho, AOI: ancho ovario izquierdo, LOI: largo del ovario izquierdo, TOD: tamaño del ovario derecho, TOI: tamaño del ovario izquierdo, CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.

Las dimensiones que corresponden a tamaños de ovarios reportadas en el Cuadro 14, se asemejan a las indicadas por Condo *et al.* (2015), 2,42 cm y 2,46 para los ovarios izquierdos y derechos respectivamente, por lo que se puede afirmar que el desarrollo de las gónadas alcanzado por las novillas sometidas en este estudio a los tratamientos orales fue aceptable al compararlo con las dimensiones reportadas en la literatura.

Al no haber obtenido diferencias significativas al comparar el desarrollo ovárico de las novillas que recibieron suplementación oral con las del grupo control, se puede afirmar que la suplementación oral de minerales no ejerció ningún efecto para estas variables en el estudio realizado, lo cual coincide con los resultados observados por Depablos *et al.* (2009b).

### 5.2.2 Estructuras ováricas de los animales sometidos a tratamientos orales

Las medias obtenidas para el ancho y el largo de los cuerpos lúteos que presentaron los animales de cada tratamiento oral se muestran en el Cuadro 15. Para las condiciones de este estudio (como lo indican los valores de P), no hubo diferencias significativas en las medidas realizadas en estas estructuras ováricas para ambos tratamientos.

Los valores obtenidos para cuerpos lúteos en el ovario derecho para estos animales fueron muy pocos, lo cual justifica que no se incluyan dichos valores en el Cuadro 15, ya que no fueron suficientes datos para la elaboración del análisis estadístico.

Cuadro 15. Medias de ancho y largo (cm) de cuerpos lúteos, para los animales sometidos a los tratamientos orales (n= 5 o 6), errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P).

Variable	Medidas (cm) para los tratamientos		Valor de P
	CON	SAL	
ACLOI	1,80 ±0,48	1,86 ±0,34	0,9354
LCLOI	2,04 ±0,06	2,16 ±0,04	0,3333

ACLOI: ancho del cuerpo lúteo en ovario izquierdo, LCLOI: largo del cuerpo lúteo del ovario izquierdo, CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.



En el Cuadro 16, se muestran los valores promedio de las dimensiones de los cuerpos lúteos observados durante la última evaluación en los animales sometidos a tratamientos orales. Solo se muestra información correspondiente a cuerpos lúteos en los ovarios derechos, ya que la cantidad de cuerpos lúteos observados en los ovarios izquierdos durante la última evaluación fueron pocas para la realización del análisis estadístico.

Cuadro 16. Medias  $\pm$  errores estándar estimado (cm) y significancia estadística (valor de P) de las dimensiones de los cuerpos lúteos obtenidas en la última evaluación de las novillas (edad promedio 18 meses) sometidas a tratamientos orales (n= 5 o 6).

Variables	Medias (cm) para los tratamientos		Valor de P
	CON	SAL	
ACL0D	2,04 $\pm$ 0,15	1,56 $\pm$ 0,10	0,0595
LCLOD	2,16 $\pm$ 0,34	1,93 $\pm$ 0,24	0,6029
TCLOD	2,10 $\pm$ 0,20	1,75 $\pm$ 0,14	0,2200

ACL0D: ancho del cuerpo lúteo en ovario derecho, LCLOD: largo del cuerpo lúteo del ovario derecho, TCLOD: tamaño del cuerpo lúteo en ovario derecho, CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.

Los valores de P que se presentan en los Cuadros 15 y 16 dejan claro que respecto a las dimensiones de cuerpos lúteos, el suplemento mineral no difirió de los resultados del tratamiento control, lo cual concuerda con lo obtenido en un estudio realizado en Minnesota, Estados Unidos, en donde Lamb *et al.* (2008), evaluaron el efecto de la suplementación oral mineral en novillas Angus sobre la respuesta de estos animales ante un protocolo de superovulación. En dicha evaluación no hubo diferencias significativas en la cantidad y tamaño de folículos y cuerpos lúteos que presentaron las hembras suplementadas en comparación con las no suplementadas. Por lo tanto, los autores indican que la adición de minerales a la dieta no causa ningún efecto en el desarrollo de estructuras ováricas ante el protocolo utilizado en ese caso para la superovulación. Tampoco hubo diferencias significativas en la cantidad de embriones viables recolectados en las vacas suplementadas.

Por su parte Depablos *et al.* (2009b), también concluyó que, al suplementar novillas con minerales de forma oral, no se observan efectos sobre el desarrollo del tracto reproductivo ni de las estructuras ováricas. Sin embargo, en cuanto a la cantidad de folículos observados en cada uno de los ovarios de las novillas evaluadas por medio de tratamientos orales, se notó que los animales del tratamiento CON, presentaron una mayor cantidad de folículos pequeños en el ovario derecho en comparación con los animales SAL ( $P = 0,0149$ ), mientras que en el ovario izquierdo no hubo cambios significativos.

En el Cuadro 17, se indican los valores promedio de la cantidad de folículos pequeños observados en cada uno de los ovarios de los animales con tratamientos orales. En dicho cuadro no se incluyen cantidades de folículos grandes (diámetro > 10 mm) porque la cantidad observada de folículos de esta categoría no fue suficiente para realizar el análisis estadístico.

Cuadro 17. Medias  $\pm$  errores estándar estimado y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios, observados en las novillas sometidas a tratamientos orales (n= 5 o 6).

	Cantidad de folículos por tratamiento		Valor de P
	CON	SAL	
Ovario derecho	11,92 $\pm$ 1,09	8,06 $\pm$ 1,02	0,0149
Ovario izquierdo	11,62 $\pm$ 1,19	9,20 $\pm$ 1,36	0,1962

CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.

### 5.2.3 Edad de pubertad de los animales pertenecientes a los diferentes grupos de tratamientos orales

En el Cuadro 18, se muestra el promedio de la edad en meses en la cual las novillas presentaron su primer cuerpo lúteo (inicio de la pubertad). Al analizar el inicio de la pubertad en días posteriores al inicio de los tratamientos, se obtuvo que las novillas que formaban parte del grupo CON mostraron EP en promedio 226,67  $\pm$ 25,88

días después de iniciado el tratamiento, mientras que las que recibieron SAL presentaron un valor de 206,25 ±22,42 días.

Como deja claro el valor de P (0,5770), no hubo diferencias significativas para el inicio de la pubertad en los animales sometidos a tratamientos orales en este estudio, lo cual difiere de lo expuesto por Fajardo *et al.* (2013), quienes mediante la suplementación oral con minerales en novillas observaron una disminución significativa de edad a la pubertad, lo cual se reflejó en preñeces más tempranas en las novillas suplementadas en comparación con las del grupo control.

Cuadro 18. Medias ± errores estándar estimado (meses) y significancia estadística (valor de P) de la edad en meses a la cual las novillas de los diferentes tratamientos parenterales mostraron la pubertad (n= 5 o 6).

Variables	Tratamiento		Valor de P
	CON	SAL	
EP (meses)	15,43 ±0,85	14,76 ±0,74	0,5770

EP: edad a la pubertad, CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.

Al igual que la edad a la pubertad obtenida en los animales tratados parenteralmente, las mostradas en el Cuadro 18 se encuentran muy cerca de los rangos adecuados según Salazar *et al.* (2013) quienes indican que el valor ideal de EP es entre los 13 y 15 meses de edad.

Edades tan tempranas de pubertad como las obtenidas en estos tratamientos representan distintos beneficios para los sistemas de producción ya que la edad a la pubertad se relaciona con edad a primer parto y en una investigación realizada en California por Ettema y Santos (2004), se concluye que la edad a primer parto presenta influencia sobre la tasa de concepción a la primera inseminación post parto (IPP) y en los días abiertos (DA). El estudio incluyó 1905 vaquillas de la raza Holstein, en donde se observó que IPP y DA se redujeron en las hembras con edad a primer parto entre 23 y 25 meses en comparación con las vacas cuya edad a primer parto era superior a ese rango. Lo cual representa otra razón importante para buscar edad a la pubertad tempranas.

Es importante recalcar, que la edad a la pubertad se relaciona con diferentes condiciones fisiológicas y ambientales que permiten el desarrollo corporal adecuado (Salazar, *et al.* 2013). Lo cual justifica la ausencia de una diferencia significativa en la edad a la pubertad de los tratamientos orales (Cuadro 18) ya que estas novillas desde su nacimiento hasta la finalización del estudio estuvieron expuestas a las mismas condiciones ambientales.

#### 5.2.4 Preñez de los animales sometidos a tratamientos orales

Como se observa en el Cuadro 19, los animales con los tratamientos orales presentaron un 100% de preñez acumulada. Además, no se indican valores del error estándar ni de significancia estadística (valor de P) porque por ser una muestra muy pequeña (n=5), no se realizó la prueba estadística.

Cuadro 19. Porcentajes de preñez obtenidos en el primer y segundo diagnóstico realizado en los grupos de animales que recibieron oral (n=5)

	Tratamiento	
	CON (n=5)	SAL (n=5)
Porcentaje de preñez PD (%)	60	80
Porcentaje de preñez SD (%)	100	100

PD: primer diagnóstico de preñez, SD: segundo diagnóstico de preñez (% de preñez acumulado), CON: tratamiento del grupo control (NaCl a libre consumo), SAL: Tratamiento oral mezcla 50:50 de NaCl y Pecutrín® a libre consumo.

Los valores que se muestran en el Cuadro 19 no concuerdan con los expuestos por muchos de los autores mencionados con anterioridad, que en sus investigaciones demuestran que mediante la suplementación oral de minerales se logra incrementar los porcentajes de preñez en comparación con animales sin suplementación.

Según Rúgeles (2001), la infertilidad por causas nutricionales en los bovinos suele presentarse en animales que se mantienen en condiciones hostiles a ambientes no favorables, como por ejemplo climas extremos y baja calidad y disponibilidad de alimentos. Es importante recalcar que los animales utilizados en este estudio nunca se sometieron a condiciones desfavorables y siempre contaron con alimentos y agua de

calidad, lo cual puede justificar, porqué a pesar que el grupo control no recibió suplementación mineral adicional a la dieta presentó el 100% de vacas preñadas a igual que el grupo de vacas que consumió minerales orales.

Lo anterior reafirma la teoría expuesta por Moriel y Arthington (2013), quienes indican que para que la suplementación mineral ejerza un efecto notorio debe haber una carencia de estos nutrientes en los animales suplementados.

Sin embargo, es importante recalcar que, en Venezuela, Depablos *et al.* (2009b) obtuvieron resultados similares a los observados en el Cuadro 19, ya que al comparar los porcentajes de preñez de novillas *Bos taurus* x *Bos indicus* suplementadas con minerales de manera oral (*ad libitum*) contra el porcentaje de preñez de novillas *Bos taurus* x *Bos indicus* de un grupo control, no hubo diferencias significativas.

### 5.3 Relación de las variables medidas en todas las novillas con la preñez

En el Cuadro 20, se compara la edad promedio (en meses) a la cual presentaron la pubertad las novillas que al finalizar el estudio terminaron preñadas, contra las que no se preñaron. Como lo indica el cuadro ( $P = 0,8557$ ), en las condiciones en las que se desarrolló este estudio, no se encontró ninguna relación con una edad más temprana o más tardía de la pubertad con la preñez de las novillas.

Cuadro 20. Medias de la edad a la cual las novillas preñadas (n=31) y no preñadas (n=8) de todos los tratamientos presentaron la pubertad, error estándar estimado y significancia estadística (valor de P).

Diagnóstico	Pubertad (meses)	Error estándar	Valor de P
Preñadas (n=31)	15,27	0,28	0,8557
No preñadas (n=8)	15,12	0,63	

Los resultados expuestos en el Cuadro 19, dejan claro que bajo las condiciones en las cuales se realizó este experimento, no se obtiene información que permita relacionar un aumento o disminución del porcentaje de preñez con edades tardías o tempranas de pubertad. Sin embargo, es importante recalcar que la edad a la pubertad

temprana representa beneficios económicos para los sistemas de producción ya que las vacas producirán más crías y/o leche durante su permanencia la finca (Salazar *et al.* 2013).

En el Cuadro 21, se presenta el análisis que relaciona la cantidad de folículos observado y la preñez. No se incluyen datos de folículos grandes (con diámetro >10 mm) porque la cantidad de estos folículos fue muy pequeña para realizar el análisis estadístico.

Cuadro 21. Medias  $\pm$  errores estándar y significancia estadística (valor de P) de la cantidad de folículos pequeños en ambos ovarios que presentaron todas las novillas del estudio.

	Cantidad de folículos pequeños		Valor de P
	No preñadas	Preñadas	
Ovario derecho	16,20 $\pm$ 2,60	11,29 $\pm$ 1,41	0,1124
Ovario izquierdo	9,50 $\pm$ 4,73	12,07 $\pm$ 1,79	0,6193
Ambos ovarios	18,50 $\pm$ 7,15	21,90 $\pm$ 3,20	0,6736

Como se observa en el Cuadro 21, no hubo diferencias significativas entre la cantidad de folículos pequeños que presentaron las novillas no preñadas en comparación con las preñadas, lo cual concuerda con lo observado en una investigación realizada por Álvarez y Giraldo (2015), en Medellín, Colombia, en donde se concluyó que existe una relación directa entre el diámetro del folículo dominante con la tasa de preñez, independientemente del ovario en el cual se presente dicho folículo. Sin embargo, no se reporta información suficiente que analice una posible relación entre la cantidad de folículos observados durante el ciclo ovárico con la preñez de los animales.

## 6. CONCLUSIONES

1. Bajo las condiciones en las que se desarrolló este ensayo no se encontró asociación en el desarrollo ovárico de las novillas y los suplementos minerales.
2. Las dimensiones ováricas que alcanzaron las novillas al finalizar el estudio se adaptan al comportamiento normal de la especie.
3. No se observó ningún efecto en cantidad de folículos ni en las dimensiones de los cuerpos lúteos debido a los tratamientos orales o parenterales.
4. Tanto las novillas sometidas a tratamiento parenteral como oral, alcanzaron la pubertad a una edad más temprana que la reportada en la literatura para la ganadería costarricense.
5. No hubo diferencias estadísticas en los porcentajes de vacas preñadas para los diferentes grupos de animales, por lo que la diferencia numérica al comparar dichos porcentajes no puede atribuirse a los tratamientos evaluados.
6. En esta investigación, no se logra establecer una relación de la edad a la pubertad y la preñez de las novillas.
7. No se logró establecer, en esta investigación, una relación entre la cantidad de folículos observados con la fertilidad de las novillas.
8. En general, los animales que consumieron sal blanca sin minerales no mostraron diferencias en ninguna de las variables analizadas en comparación con los animales suplementados.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la suplementación mineral en los sistemas ganaderos costarricenses ya que la carencia de minerales es un factor que contribuye edades a la pubertad avanzadas y por lo tanto edades a primer parto mayores.
2. Las condiciones favorables en las que permanecieron las novillas durante el periodo de investigación son muy diferentes a las de la mayoría de los animales de los sistemas de producción de ganado costarricense, por lo que se recomienda realizar investigación bajo esas condiciones y medir el beneficio que esto generaría de una manera más relacionada con la realidad que enfrenta el ganadero.
3. Como se observa en la literatura citada, muchos otros factores intervienen en variables como edad a la pubertad y por lo tanto en edad a primer parto, por lo que sería favorable tener más información sobre los animales en el estudio (épocas de nacimiento, número de parto de la madre, información del padre, entre otras) para de esta manera medir el efecto de estos factores sobre la reproducción de las hembras bovinas.
4. Sería adecuado medir las concentraciones séricas de los elementos suplementados, para de esta manera saber si la absorción de los mismos es favorable y tener datos más acertados de las diferencias entre los animales suplementados y los del grupo control. Además, sería bueno cuantificar los niveles séricos de hormonas relacionadas a la reproducción, para los animales de los distintos tratamientos y así poder concluir el efecto de estos al respecto.



## 8. LITERATURA CITADA

- ANDRINGA M., CAVESTANY D., VAN EERDENBURG F. 2013. Relaciones entre la expresión del celo, tamaño del folículo y ovulación entre vacas de leche en pastoreo. *Veterinaria*. 49(190): 04-15.
- ÁLVAREZ A., GIRALDO J. 2015. Relación del tamaño del folículo dominante y tasa de concepción al momento del servicio en vacas Holstein de alta producción. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*. 4(1): 8-17.
- ARANGUREN J., SOTO G., QUINTERO A., ROJAS N., HERNÁNDEZ H. 1997. Pubertad en novillas cruzadas suplementadas con bloques multinutricionales. *Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad de Zulia*. 7(3): 186, 189.
- ARROYO C., ARAUZ L., MORA J. 2004. Incidencia de enfermedades en pejibaye (*Bactris gasipae* Kunth) para palmito. *Agronomía Mesoamericana* 15(1): 62.
- BARRIOS M., SANDOVAL E., BORGES J., SÁNCHEZ D., 2013. Efecto de una suplementación mineral sobre fósforo sérico, parámetros productivos y reproductivos en vacunos doble propósito de fincas deficientes en fósforo edáfico. *Revista electrónica de veterinaria*. 14(2): 1-14.
- BARROSO F. 2015. Evaluación de los niveles séricos de calcio en animales Holstein postparto después de la administración oral de una suspensión de calcio. Tesis presentada como requisito para optar por el grado académico de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 5 pp.
- BETANCUR S., CAPDEVIELLE L., FERREIRA A. 2015. Efecto de la suplementación con selenio sobre el desempeño reproductivo de vacas de cría pastoreando campo natural de basalto. Tesis presentada como requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 7-18p.
- BLAIR C. 2007. Evaluación económica de alternativas de bajo costo para la suplementación de ganado en época seca. Proyecto de graduación presentado para optar por el grado académico de Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Universidad EARTH. Limón, Costa Rica. 2-5p.

- BOTACIO R., GARMENDIA J. 1997. Efecto de la suplementación mineral sobre el status mineral, parámetros productivos y reproductivos en bovinos a pastoreo. Archivos latinoamericanos de producción animal. 5(1): 245-247.
- CAMPABADAL C. 2009. Efecto de la nutrición sobre la reproducción del ganado de leche. Memorias del Congreso Nacional Lechero. San Carlos, Costa Rica. Noviembre 2009.
- CASAS E., TEWOLDE A. 2001. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos en el trópico húmedo. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 9(2): 68-73.
- CELIS C. 2002. Efecto sobre la suplementación parenteral con selenio, cobre, zinc y yodo sobre los días abiertos en hembras de carne del departamento del meta. Tesis presentada como requisito para optar por el título de Zootecnista. Universidad de La Salle, Facultad de Zootecnia. Bogotá, Colombia. 7-24p
- CONDO L., REYES F., LARRE, C., MARINI P. 2015. Estado fisiológico de los ovarios en bovinos en el cantón de Morona Santiago. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología. 4(2): 119-130.
- CSEH S., RODRÍGUEZ M., SCIOTTI A., CAMPERO C. 2012. Efecto de la suplementación con Mg sobre diversos parámetros en vacas con restricción alimentaria. Archivos de Zootecnia 61 (236): 525-536.
- CUESTA M., GARCÍA J., SILVEIRA E., PINO Y. 2011. Administración parenteral de un compuesto de cobre, zinc y manganeso en vacas lecheras. Revista Electrónica de Veterinaria. 12(2): 1-13.
- DEPABLOS L., GODOY S., CHICCO C., ORDOÑEZ J. 2009a. Nutrición en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. Zootecnia Tropical. 27(1): 25-37.
- DEPABLOS L., ORDÓÑEZ J., GODOY S., CHICCO C. 2009b. Suplementación mineral proteica de novillas a pastoreo en los llanos centrales de Venezuela. Zootecnia Tropical. 27(3): 249-262.
- ENJOY D., CABRERA P., VIVAS I., DÍAZ T. 2012. Dinámica folicular durante el ciclo estral en vacas Brahman. Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias. 53(1): 39-47.

- ETTEMA J., SANTOS J. 2004. Impact of age at first calving on lactation, reproduction, health, and income in FirstParity Holstein on Comemercial Farms. *J.Dairy Sci.* 87(8): 2730-2742.
- FAJARDO H., VIAMONTE M., RONDÓN G., GARCÍA R., GUTIÉRREZ O., SÁNCHEZ M., RUIZ T., GONZÁLEZ N. 2013. Hembras bovinas lecheras en pastoreo en el valle del Cauto. III. Influencia de la suplementación mineral experimental en indicadores reproductivos y sanguíneos de novillas y vacas. *Ciencia y Tecnología Ganadera.* 7(1): 41-49.
- FERNÁNDEZ M. 2014. Necesidades de minerales y vitaminas. *Mundo ganadero.* 25(260): 14-17.
- GARCÍA J., CUESTA M., PEDROSO R., GUTIÉRREZ M., MOLLINEDA A., FIGUEREDO J. 2006. Efecto del cobre sobre la reproducción en novillas lecheras de Cuba. *Revista Científica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 11(2): 790-798.
- GARCÍA J., CUESTA M., PEDROSO R., RODRÍGUEZ J., GUTIÉRREZ M., MOLLINEDA A., FIGURED O J., QUIÑONE R. 2007. Suplementación parenteral de cobre en vacas gestantes: efecto sobre el postparto y terneros. *Revista Científica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 12(2): 985-995.
- GARCÍA J., CUESTA M., GARCÍA R., QUIÑONES R., FIGUEREDO J., PEDROSO R., MOLLINEDA A. 2010a. Caracterización del contenido de microelementos en el sistema suelo-planta-animal y su influencia en la reproducción bovina en la zona central de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 44(3): 233-237.
- GARCÍA J., GARCÍA R., CUESTA M., FIGURED O J., QUIÑONES R., FAURE R., PEDROSO R., MOLLINEDA A. 2010b. Los niveles sanguíneos de cobre y su influencia en los indicadores reproductivos de la hembra bovina en las condiciones del trópico. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 44(3): 239-245.
- GRANJA Y., CERQUERA J., FERNÁNDEZ O. 2012. Factores nutricionales que interfieren en el desempeño reproductivo de la hembra bovina. *Revista Colombiana de Ciencia Animal.* 4(2): 458-472.

- GÓMEZ M., 2010. Elementos de estadística descriptiva. 3<sup>ra</sup> Edición. EUNED. San José, Costa Rica. 7-10p.
- GÓMEZ M., GONZÁLEZ B., PINOCHET D., GUTIÉRREZ A., ABURTO P. 2011. Análisis de las concentraciones de azufre en agua, alimento y gas sulfúrico ruminal de rebaños bovinos de carne en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile. Archivos de Medicina Veterinaria. 43(1): 35-40.
- GONZÁLEZ C., DE LA FUENTE J. 2012. Puberty in Heifers of the spanish breed Avileña-negra Ibérica. Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad de Zulia. 22(1): 17-23.
- GONZÁLEZ C., MADRID N., CHIRIOS Z., ARANGUEREN J., QUINTERO A., RAMÍREZ L. 1998. Comportamiento y eficiencia reproductiva de novillas mestizas en relación con el calificativo del tracto reproductivo. Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad de Zulia. 7(2): 129-131.
- HAFEZ E., HAFEZ B. 2002. Reproducción e inseminación artificial en animales. McGraw-Hill Interamericana. 7<sup>ma</sup> Edición. DF, México. 13-31 pp.
- HENAO G., TRUJILLO L. 2000. Establecimiento y desarrollo de la dominancia folicular bovina. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 13(2): 108-120.
- HERNÁNDEZ M., GARCÍA J., LAURINDA A., FRANCISCO M. 2014. Estudio morfológico de ovarios en vacas mestizas Nguni (Landim) en Mozambique. Revista Electrónica de Veterinaria. 15(5): 1-12.
- HOLGUÍN V., IBRAHIM M., MORA J., ROJAS A. 2003. Caracterización de sistemas de manejo nutricional en ganaderías de doble propósito de la región Pacífica Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 10: 40- 46.
- HOLMANN F., RIVAS L., PÉREZ E., CASTRO C., SCHUETZ P., RODRÍGUEZ J. 2007. La cadena de carne bovina en Costa Rica: Identificación de temas críticos para impulsar su modernización, eficiencia y competitividad. CIAT. Cali, Colombia. 1,4pp
- HURTADO B., MARTÍNEZ Y., VERGARA O. 2012. Concentración de macrominerales séricos y hematocrito en bovinos durante dos épocas del año en Montería, Colombia. Revista electrónica de veterinaria. 13(8): 1-11.

- JIMÉNEZ Y., GARCÍA A., RINCÓN R. 2015. Evaluación del comportamiento reproductivo de vacas mestizas lecheras, tratadas con minerales vía parenteral. *Revista Estudiantil URU.* (1): 87-96.
- LAMB G., BROWN D., LARSON J., DAHLEN C., DILORENZO N., ARTHINGTON J., DICOSTANZO A. 2008. Effect of organic or inorganic trace mineral supplementation on follicular response, ovulation, and embryo production in superovulated Angus heifers. *Animal Reproduction Science.* 106(1): 221–231.
- LOJÁN C. 2011. Determinación de los niveles de calcio, fósforo y magnesio en vacas de producción en la Hoya de Loja. Tesis presentada como requisito para optar por el grado académico de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 8-16pp
- LUNA M., ROLDAN V. 2013. Perfil mineral en bovinos lecheros de Santa Fe, Argentina. *Revista veterinaria.* 24(1): 47-52.
- MACHADO V., BICALHO M., PEREIRA R., CAIXETA L., KNAUER W., OIKONOMOU G., GILBERT R., BICALHO R. 2013. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *The Veterinary Journal* 197(1): 451–456
- MAQUIVAR M., GALINA C., MENDOZA G., VERDUZCO A., GALINDO J., MOLINA R., ESTRADA S. 2006. Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Revista Científica.* 16(6): 635.
- MADRID A., MATAMOROS Y. 2013. Inducción de celo y porcentaje de preñez en vacas con Catosal® o Calfosvit Se® al momento del retiro del implante intravaginal DIV-B®. Tesis presentada como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Tegucigalpa, Honduras. 6-11p.
- MATAMOROS J. MORENO J. 2009. Efecto de la aplicación de Calfosvit®Se sobre el comportamiento reproductivo de vacas lecheras. Tesis presentada como

- requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras. 1-4.
- MÉNDEZ J. 2008. Agro-cadena de la ganadería bovina de carne de la Región Chorotega: Plan Estratégico para el desarrollo de la agrocadena de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega. Federación de Cámaras de Ganaderos de Guanacaste, MAG, BNCR y CORFOGA. San José, Costa Rica. 72 p.
- MINATEL L., UNDERWOOD S., POSTMA M., DALLORSO G., CARFAGNINI. 2007. Preproducción experimental de la deficiencia de cobre en bovinos mediante el empleo de altos niveles de molibdeno y sulfato en la dieta. *Revista Argentina de Producción Animal*. 27(3): 179-187.
- MORIEL P., ARTHINGTON J. 2013. Effects of trace mineral-fortified, limit-fed preweaning supplements on performance of pre-and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*. 91(1):1371–1380.
- NARVÁEZ M., NÚÑEZ R. 2013. Porcentaje de preñez en vacas lecheras sincronizadas con dispositivos intravaginales DIV-B® y la aplicación de Butafosfano + Cianocobalamina al momento de la inseminación artificial. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 15 p
- OBISPO N., GARMENDIA J., GODOY S., CHICCO C., ACEVEDO D. 2002. Suplementación mineral y proteica de bovinos de carne pastoreando en sabanas naturales donde ocurre el síndrome parapléjico. *Revista Científica FCV-LUZ*. 12(3): 161-168.
- PALMA J. 2005. Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en investigación agropecuaria*. 5(1): 2.
- PEDROSO R., ROLLER F., RIVERO E. 2013. Factores que influyen en el crecimiento, comportamiento reproductivo y productivo de las novillas de reemplazo. *Ciencia y Tecnología Ganadera*. 7(1): 1-25
- PÉREZ E. 2011. La evolución reciente de la producción de carnes en Costa Rica. *ECAG informa*. 55: 64-65.

- PESÁNTEZ E. 2015. Relación entre el tamaño del folículo preovulatorio, diámetro del cuerpo lúteo y niveles de progesterona en el ganado bovino de la raza criolla. Tesis presentada para la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 21-45p.
- REIS P., MARTINS C., SALES J., PULGA M., BRANDEBURGO É., DURAN M., VIEIRA L., BARUSELLI P. 2012. Effect of the supplementation with injectable tonic, organic phosphorus based associated with vitamin B12 (B12 Catosal®) in the in vitro embryo production of Gyr donors. *Anima Reproduction*. 9(3):562
- RIVERA H. 2009. Revisión anatómica del aparato reproductor de las vacas. *Dairy Cattle Reproduction Conference*. 103(1): 103-109.
- RODRÍGUEZ L. 2015. Efecto de la suplementación mineral sobre el crecimiento y desarrollo corporal de novillas *Bos taurus x Bos indicus*. Tesis presentada para optar por el grado académico de Licenciatura en Agronomía con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 34 p.
- RÚGELES C. 2001. Interrelaciones entre nutrición y fertilidad de bovinos. *Revista Científica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 6(1): 24-30.
- RUSSELL L., ARTHINGTON J. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 4<sup>ta</sup> Edición. University of Florida. 59p.
- SALAMANCA A. 2010. Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista electrónica de veterinaria*. 11(09): 1-10.
- SALAZAR M., CASTILLO G., MURILLO J., HUECKMANN F., ROMERO J. 2013. Edad a primer parto en vacas Holstein de lechería especializada en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 24(2): 233-243.
- SÁNCHEZ A. 2011. Morfometría ovárica de hembras Cebú (*Bos Indicus*). *Cultura Científica*, 5(5), 61-64.
- SUTTLE N. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4<sup>ta</sup> Edición. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 579 p.
- TENJO M., CARDONA J. 2008. Efecto de la suplementación parenteral con un multimineral quelatado sobre los días abiertos en hembras tipo carne en los llanos orientales. *Revista Ciencia Animal*. (1): 77-83.

UNDERWOOD E., SUTTLE N. 1999. The mineral nutrition of livestock. 3<sup>ra</sup> Edición.  
Modlothian, UK.



## 9. Anexos

ANEXO 1. Ficha utilizada para la recolección de datos en el campo

# Animal							
	Ovario	Tamaño		Cuerpo lúteo		Cantidad de folículos	
		Ancho (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	≤ 10 mm	> 10 mm