



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA

Posgrado en Producción Animal

SUPLEMENTACIÓN DE MINERALES EN EL COMPORTAMIENTO
REPRODUCTIVO Y PRODUCTIVO DE GANADO BOVINO EN EL TRÓPICO

TESIS

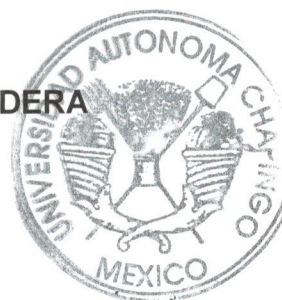
Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

ROGELIO MONTERO RODRÍGUEZ



Bajo la supervisión de Constantino Romero Márquez, M.C.

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
INSTITUTO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



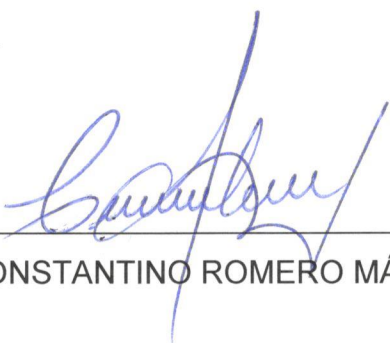
Chapingo, México, junio de 2017.

**SUPLEMENTACIÓN DE MINERALES EN EL COMPORTAMIENTO
REPRODUCTIVO Y PRODUCTIVO DE GANADO BOVINO EN EL TRÓPICO**

Tesis realizada por **ROGELIO MONTERO RODRIGUEZ** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



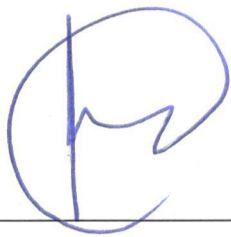
M. C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ

ASESOR:



Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Ph. D. JOSÉ GUADALUPE GARCÍA MUÑIZ

CONTENIDO

	PÁG.
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Características de la ganadería bovina de doble propósito	3
2.2 Fisiología reproductiva de los bovinos	4
2.2.1 Endocrinología del ciclo reproductivo	4
2.2.2 Sincronización del estro en ganado bovino	9
2.3 Los minerales en la reproducción bovina	14
2.3.1 Los minerales y su importancia en la nutrición animal	14
2.3.2 Trastornos causados por deficiencia de minerales	16
2.4 Literatura citada.....	18
3. SUPLEMENTACIÓN DE MINERALES EN EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO Y PRODUCTIVO DE GANADO BOVINO EN EL TRÓPICO	24
3.1 Resumen	24
3.2 Abstract	25
3.3 Introducción	26
3.4 Materiales y métodos	27
3.4.1 Localización del experimento	27
3.4.2 Selección de animales.....	27
3.4.3 Alimentación y manejo de los animales.....	27
3.4.4 Obtención de muestras de sangre	28
3.4.5 Diagnóstico del estado mineral de los animales.....	28
3.4.6 Tratamientos	29
3.4.7 Sincronización de celos.....	29
3.4.8 Inseminación artificial	30
3.4.9 Diagnóstico de gestación	30

3.4.10 Variables evaluadas	30
3.5 Resultados y discusión.....	33
3.5.1 Fertilidad.....	33
3.5.2 Producción de leche	39
3.6 Conclusiones	41
3.7 Implicaciones	42
3.8 Agradecimiento.....	42
3.9 Literatura citada.....	43

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Problemas de infertilidad y sus probables causas nutricionales	17
Cuadro 2. Diagnóstico mineral de los animales por ranchos y rangos óptimos	28
Cuadro 3. Distribución de los tratamientos implementados	29
Cuadro 4. Aporte estimado de la mezcla mineral por kg de MS consumida	29
Cuadro 5. Coeficientes de regresión ($\pm$ E.E.), riesgos relativos (IC 95%) y nivel de probabilidad para los efectos fijos de tratamiento de las vacas al primer servicio por rancho, numero de parto, genotipo, año y estación de parto de vacas doble propósito en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México	34
Cuadro 6. Efecto de la suplementación mineral en la fertilidad al primer servicio de vacas doble propósito	35
Cuadro 7. Coeficientes de regresión ($\pm$ E.E.), riesgos relativos (IC 95%) y nivel de probabilidad para los efectos fijos de tratamiento de la fertilidad acumulada en el día 150 de gestación por rancho, numero de parto, genotipo, año y estación de parto de vacas doble propósito	37
Cuadro 8. Efecto de la suplementación mineral en la fertilidad acumulada al día 150 de vacas doble propósito	38
Cuadro 9. Probabilidades asociadas a la producción de leche por tratamiento, rancho y sus respectivas interacciones en vacas de doble propósito	40
Cuadro 10. Medias de producción de leche (kg de leche/vaca/día) por rancho y sus tratamientos para vacas de doble propósito	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo de sincronización del estro	30
Figura 2. Efecto de la interacción tratamiento por rancho en la producción de leche de vacas de doble propósito.....	41

DEDICATORIA

A todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo...

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por contribuir al financiamiento de mis estudios y mi investigación.

A mis asesores el M.C. Constantino Romero Márquez, Dr. Maximino Huerta Bravo, y Dr. José Guadalupe García Muñiz, por su apoyo en el desarrollo y revisión del trabajo de investigación. Al M.C. Constantino Romero Márquez, por las facilidades otorgadas para desarrollarme profesionalmente ya que sin su apoyo mi estancia en el Posgrado en Producción Animal hubiera sido imposible.

Al Ing. Rogelio Montero Sosa y la Q.B.P. Alma Delia Rodríguez González, por su apoyo, motivación, y por facilitarme los recursos para la realización de esta investigación, además de ser mis padres y apoyarme en todo momento.

A todos mis compañeros y amigos que me brindaron su apoyo durante mi estancia en el Posgrado de Producción Animal. En especial a la Dra. Citlalli González, por ser una buena amiga, compañera y por su apoyo durante la realización de la investigación.

A mis amigos Santiago Velázquez, Abraham Santín, Vicente Castillo, Ramón Dávila, Danibaaan Martínez, Daniel Díaz, Camilo Rodríguez, Jesús Quintero, Juan Carlos Muñoz, Javier Rubio, Gustavo de la Torre, Marcos Hinojoza, Araceli Hinojoza, Othmara Ramírez, Fernanda Ramírez, Gabriela Pérez, y por supuesto agradezco a todas aquellas personas que me faltó mencionar e igualmente contribuyeron a la realización de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Rogelio Montero Rodríguez
Fecha de nacimiento	9 de julio de 1990
Lugar de nacimiento	Tuxpan, Veracruz, México
CURP	MORR900709HVZNDG06
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	09302974



Desarrollo académico

Bachillerato	Colegio Tepeyac
Licenciatura	Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, Estado de México
Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera Posgrado en Producción Animal Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, Estado de México

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las deficiencias en el comportamiento reproductivo del ganado bovino determinan en gran medida la rentabilidad de las unidades de producción dedicadas a la actividad de doble propósito en el trópico mexicano (Pérez & Gómez, 2005). El 55% de la producción bovina mundial está localizada en regiones tropicales y debido a las condiciones extremas (altas temperaturas ambientales) de esta zona los animales *Bos indicus* o sus cruzas con *Bos taurus* son los más frecuentemente encontrados (Larson & Kiracofe, 1995). La producción bovina en el trópico se desarrolla en condiciones extensivas y depende, entre otros factores, del estado y conservación de las pasturas (Bevitori, Fonseca, Tilemahos, Campos & Kling, 2005). Entre las principales causas de pérdidas económicas para la producción bovina en condiciones tropicales, se encuentran limitantes como días abiertos, e intervalos entre partos prolongados (Baruselli, Bo, Reis, Marques & Sá, 2005) además de una pobre tecnificación de los ranchos. En México, se reportan días abiertos muy cercanos a los 150 días e intervalos entre partos de más de 450 días, lo que indica que, a pesar de los adelantos tecnológicos, el rendimiento reproductivo del ganado en el trópico está influido negativamente por factores que impiden la expresión del potencial genético de los animales en las diferentes explotaciones (Borchert, Farin & Washburn, 1999).

Ante esto la necesidad de implementar técnicas como la Inseminación artificial (IA) que permite el mejoramiento genético y elevar el potencial productivo y reproductivo de los animales criados en zonas tropicales, además también es necesario implementar programas de inducción y sincronización de estros (Cunningham, 1989). Sin embargo, el éxito de estas tecnologías, dependerá de igual forma de una buena nutrición.

Los minerales son conocidos por ser esenciales en la nutrición animal ya que desempeñan un papel fundamental en la salud, la reproducción y la productividad. Los minerales son además necesarios para la transformación de

los alimentos en componentes del organismo o en productos animales como leche, carne, crías, piel, lana, etc. Según Huerta (1997), los minerales más importantes para las funciones reproductivas son: P, Zn, Cu, Mn, Co, Se y I.

En consideración a lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación con minerales, en el comportamiento reproductivo y productivo de vacas de doble propósito en el trópico mexicano.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de la ganadería bovina de doble propósito

La ganadería de doble propósito en trópico es flexible en su función zootécnica, al producir leche por medio del ordeño y carne por el amamantamiento de los becerros (Ruíz, Ávila, García & Brunett, 2008; Pech, Santos & Montes, 2002). Este tipo de sistemas de producción proporcionan un tercio de la leche que se consume en México (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2002; Fundación Produce Oaxaca, 2007). Las principales regiones productoras de leche en el trópico mexicano son Veracruz, La Huasteca, Chiapas y Tabasco (Castro, Sánchez, Iruegas & Saucedo, 2001). Según Román (1981), el 31.5% de los rumiantes en el trópico mexicana eran bovinos, en este mismo año se consideraba que el 90% de la población bovina en la región era un mosaico del cruzamiento de las razas: Brahman, Indobrasil, GYR, Pardo Suizo, Holstein y Criollo.

El estado de Veracruz juega un papel fundamental en la producción de lácteos como medio de ingresos para los productores de zonas rurales principalmente. Esta entidad produjo en 2015 un volumen de 695,762 t de leche, representado una participación del 6.1%, que lo situó en el sexto lugar nacional sólo por debajo de los estados de Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato quienes participaron con el 18.9, 12.1, 10, 9 y 6.9%, respectivamente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

El 73.3% de la ganadería de doble propósito utiliza el pastoreo alterno en gramíneas nativas y praderas de especies introducidas como forma de alimentación del hato. El resto (26.7%) combina el pastoreo tradicional con estrategias alternas con base en residuos de cosechas, desperdicios de la agroindustria y suplementación de sales minerales, práctica que se hace común en la época crítica de forrajes y estiaje. Esto concuerda en términos generales con el manejo alimenticio para los sistemas de doble propósito reportado por Magaña, Ríos & Martínez (2006) y Ruiz et al. (2008).

La nutrición del ganado bovino en pastoreo suele ser afectada por el desbalance de minerales, energía y proteína de los forrajes que consume, manifestándose en los animales alteraciones físicas y biológicas de distinto grado, siendo más acentuadas en aquellos casos donde el ganado se alimenta exclusivamente de forraje (Preston, 1982).

McDowell y Arthington (2005) señalan como principal factor, que tanto suelos como forrajes presentan deficiencias en varios macros y microminerales, por tanto, los animales en pastoreo no logran cubrir sus requerimientos, manifestándose problemas reproductivos, baja producción de carne y leche, bajo peso corporal de terneros durante la lactancia, entre otros.

Algunos diagnósticos del estado mineral en ganado bovino, realizados en regiones tropicales de México revelan deficiencias de selenio, cobre y zinc en suelo, forraje y suero sanguíneo; suficiencia y exceso en manganeso y hierro en suelo y forraje; y resultados muy variables en los contenidos de calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo en suero sanguíneo, forraje, agua y suelo (Martínez, 2006; Ramos, 2009; Gámez, 2009).

2.2 Fisiología reproductiva de los bovinos

Durante el ciclo reproductivo se suscitan cambios funcionales y estructurales en el ovario y en el folículo; cerca del momento del estro, el folículo ovulatorio alcanza un gran tamaño y produce cantidades importantes de estrógenos hasta inducir el pico preovulatorio de la hormona luteinizante (LH) (Henao, Carrillo & Olivera, 2004); así mismo, Hafez y Hafez (2002) describe el crecimiento folicular durante el ciclo estral como un mecanismo dependiente de un delicado equilibrio neuroendocrino que involucra el eje Hipotálamo-Hipófisis-Gónadas, cuyas hormonas sintetizadas regulan el crecimiento folicular, la ovulación y la duración del ciclo estral.

2.2.1 Endocrinología del ciclo reproductivo

El ciclo reproductivo en la hembra bovina está regulado por la secreción de las hormonas hipotalámicas (GnRH) e hipofisiarias: hormona folículo estimulante

(FSH) y LH, hormonas ováricas: estrógenos producidas por el folículo y progesterona, producida por el cuerpo lúteo, así como por la secreción de prostaglandina a nivel del útero (Hafez & Hafez, 2002).

La GnRH, es sintetizada en las neuronas del hipotálamo y transportadas desde la eminencia media hipotalámica hasta la hipófisis anterior por el sistema portal hipotálamo-hipófisis. La FSH es secretada por la hipófisis y estimula el crecimiento y maduración de los folículos en el ovario, por lo tanto, representa el factor principal para inducir el crecimiento folicular en el ovario, esta hormona es sintetizada y secretada por la hipófisis anterior, promovida por la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) del hipotálamo (Senger, 2005).

Conforme se produce el crecimiento folicular, las células de la granulosa adquieren receptores para FSH y las células de la teca receptores para la LH, estimulando la producción de estrógenos, mediante un mecanismo de conversión del colesterol a andrógenos (androstenediona) en la células de la teca y es transportada a las células de la granulosa para ser convertida en estradiol en la células de la granulosa, mediante la acción enzimática de la aromatasa estimulado por la FSH (Senger, 2005; Knobil & Neill, 1994). La FSH por sí sola no provoca la secreción de estrógenos por lo requiere la presencia de la LH (Niswender, Juengel, Silwa, Rollyson & McIntush, 2000).

Posteriormente en un folículo preovulatorio, los estrógenos estimulan la producción de receptores para la LH en las células de la granulosa y pueden distinguirse receptores para FSH y LH en las células de la granulosa y receptores solo para LH en la teca, mecanismo necesario para la ovulación y posterior luteinización del folículo (Beg, Bergfelt, Kot, Wiltbank & Ginther, 2001; Knobil & Neill, 1994).

Los cambios iniciales intrafoliculares, que diferencian a un folículo dominante (> 9 mm) del resto de folículos en crecimiento, son cambios relacionados con una mayor capacidad de producir estrógenos (Henaó, Carrillo & Olivera, 2004; Austin, et al., 2001).

La presencia del Cuerpo Lúteo (CL) después de la ovulación, con capacidad de secretar progesterona, inhibe la secreción preovulatoria de LH, contribuyendo a la regresión del folículo dominante, pero a su vez, se produce la emergencia de una nueva onda folicular (Dejarnete, House, Ayars, Wallace & Marshall, 2004).

El crecimiento, desarrollo, maduración, ovulación y luteinización del folículo depende de patrones de secreción y concentraciones adecuadas de FSH y LH (Niswender et al., 2000). La secreción basal de FSH y LH es controlada por un mecanismo de retroalimentación negativa de la progesterona, pero este tipo de secreción permite el desarrollo de los folículos y la secreción de estrógenos de los mismos, un aumento pequeño en los pulsos de LH promueve el crecimiento del folículo y prolonga su dominancia acompañado de una secreción de estrógenos, esto sugiere que la regresión del folículo dominante no ovulatorio durante el ciclo estral ocurre por retroalimentación negativa de la progesterona del CL sobre la secreción de LH (Sánchez et al., 1995).

Un segundo tipo de secreción de LH y FSH corresponde a la secreción cíclica, que controla las secreciones masivas como el pico preovulatorio de naturaleza pulsátil especialmente de la LH, las elevaciones de las concentraciones de estas hormonas dura de 6 a 12 h; el aumento de LH se inicia por una retroalimentación positiva inducida por el estrógeno, sintetizado en el folículo, sobre el hipotálamo, éste responde liberando la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y es esta última la que actúa sobre la hipófisis promoviendo la liberación de LH. Duffy, Crowe, Boland y Roche (2000), encontraron que la aplicación de LH exógena puede inducir la ovulación o prolongar la dominancia del folículo potencialmente ovulatorio.

Desarrollo y dinámica folicular

El crecimiento de los folículos ováricos en los bovinos ocurre bajo un patrón de ondas de crecimiento folicular, reportándose que durante un ciclo estral se produce la emergencia de 2 o 3 ondas de crecimiento folicular, después de una fase inicial de reclutamiento de muchos folículos primordiales (Bo et al., 1994).

En las vacas cebuínas, a diferencia de las vacas europeas, se presenta predominantemente ciclos de dos ondas de crecimiento folicular. (Roa, Linares, Díaz & Chacin, 2006). En la fase de reclutamiento se inicia el crecimiento de folículos, los cuales empezarán a crecer por la acción de estimulación de las gonadotropinas producidas en la hipófisis, hasta culminar en la ovulación. El crecimiento de la primera onda folicular ocurre entre los días 1 y 3 después del estro, con el reclutamiento de 10 a 50 folículos de 2 a 3 mm, una parte de estos folículos continúan su crecimiento hasta los 4 a 6 mm aproximadamente; posteriormente 4 o 5 folículos continúan su crecimiento y los demás regresionan, correspondiendo a la fase de selección la cual se inicia con la expresión de receptores de LH en las células de la granulosa (Bao et al., 1997). De este pequeño grupo, al menos uno continúa su desarrollo hasta convertirse en folículo dominante y la consiguiente atresia de los otros folículos (Acosta, Gestal, Gestal, Beg & Ginther, 2004).

Ovulación

En los bovinos, la ovulación se presenta al azar con respecto al ovario que contiene el cuerpo lúteo previo. El desarrollo folicular se produce en ondas. Las ondas foliculares son el desarrollo armónico y simultáneo de varios folículos antrales funcionando a través de estadios integrados de reclutamiento, selección y dominancia folicular (Hafez & Hafez, 2002).

El proceso de ovulación obedece a un delicado equilibrio neuroendocrino basado en la secreción súbita preovulatoria de gonadotropinas al inicio del estro cuando la progesterona disminuye a su mínima concentración sanguínea y el estradiol alcanza su cifra máxima en el ciclo. A una elevación súbita de LH, además de una secreción pulsátil de alta frecuencia y de baja amplitud se atribuye la ruptura de la pared folicular y ovulación y es el folículo dominante preovulatorio el responsable de la inducción del estro y de la oleada preovulatoria de LH (Silva & Price, 2000). Así mismo, se atribuye a la prostaglandina la ruptura de los lisosomas de las células epiteliales en el ápice folicular que se encargan de degradar y debilitar la pared, así mismo mediante las contracciones de las células

de músculo liso del estroma del ovario (Senger, 2005). El folículo dominante secreta más del 80% del estradiol y también es responsable de 55% de la inhibina liberada en la circulación (Campbell, Sexton & Milner, 1991).

Los folículos preovulatorios comienzan a segregar $17\text{-}\beta$ estradiol, que al aumentar induce el comportamiento estral. El pico de estradiol coincide con valores decrecientes de progesterona, lo que desencadena el pico de LH, luego del cual, si hay folículos maduros, se produce la ovulación (Hafez & Hafez, 2002).

El proceso de luteolisis se da aproximadamente de los 14-16 días después de la ovulación y es desencadenado por la expresión de receptores de oxitocina a nivel de epitelio luminal uterino (Robinson, Mann, Lamming & Wades, 2001), así como también por el efecto luteolítico de la prostaglandina $F2\alpha$ que se produce tanto en útero como en el propio cuerpo lúteo (Shirasuna et al., 2004).

La ovulación ocurre entre 10 y 11 h después de finalizado el estro (o 30 h después de comenzado el estro), salvo en la primera ovulación post parto que se produce sin signos aparentes de celo (Hafez & Hafez, 2002).

Ciclo estral

En los animales el apareamiento se da solo con fines de la reproducción y esto es solo durante el estro que en caso de los bovinos coincide con la ovulación. Todas las hembras mamíferas desde el inicio de la pubertad presentan ciclos estruales, la duración del ciclo estral comprende el número de días entre dos celos seguidos (Arthur, Noakes & Pearson, 1991).

La manifestación externa del celo en la vaca se da por una edematización, secreción de moco y enrojecimiento de la vulva, inquietud del animal, disminución de la frecuencia de alimentación y evidentemente aceptación de monta por el macho o por sus compañeras y se debe toda esta manifestación externa del estro a la gran cantidad de estrógenos secretada en mayor cantidad por el folículo dominante (Gordon, 2006). La duración del ciclo estral fluctúa entre los 18-23 días con un promedio de 21 días, esta variabilidad se da entre razas y entre individuos de la misma especie y se aplica también al momento de la ovulación

que tiene efecto dentro de 12 -26 horas de iniciado el estro en la mayoría de las vacas, con los primeros signos del estro usualmente coincidiendo con el inicio de la oleada preovulatoria de la LH y de FSH (Youngquist & Threlfal, 2007).

2.2.2 Sincronización del estro en ganado bovino

El intento de sincronizar el celo de las vacas es una necesidad de los ganaderos desde mucho tiempo atrás, y desde entonces los avances científicos no ha dejado de progresar en beneficio de la producción ya sea de carne o de leche.

La biotecnología ha jugado un papel importante en la producción animal, durante años se practica de alguna forma u otra bajo varias banderas desde que el hombre comenzó a domesticar a las especies animales. Muchas de las herramientas antes utilizadas para la reproducción animal, ahora unidas por la biotecnología, tienen y seguirán teniendo un papel importante en la selección y propagación de características deseables e importantes a nivel económico en el ganado. Desde este punto de vista, las prácticas de producción animal han sido un éxito biotecnológico desde hace ya mucho tiempo (Sepúlveda, Risopatrón, Rodríguez & Rodero, 2003).

La eficiencia de los sistemas de producción en bovinos es dependiente de la tasa de terneros nacidos y destetados. La aplicación de los resultados de un estudio sobre costos de producción, indicó que el intervalo máximo entre el parto y la concepción sea de 100 días, para que una vaca se torne económicamente rentable en una explotación, lo que significa una tasa de fertilidad promedio de 90%. Para que sea posible la obtención de esos índices, es imprescindible que sea utilizada una estación de monta no superior a 60 días. En ese contexto, la sincronización de celos es importante, permitiendo una buena concentración de los partos de las vacas en los momentos más adecuados del año en función del ofrecimiento forrajero (Moraes, 1994).

En bovinos de leche o de carne confinados, la identificación de estros es uno de los grandes problemas del proceso de inseminación artificial. En estos sistemas de crianza, la sincronización de estros, asociada a procesos de inseminación a

tiempo fijo (IATF), es un importante instrumento para fecundar las vacas sin la observación de los estros y, con esto incrementar, los índices de gestación, reducir el intervalo parto concepción y disminuir el número medio de dosis de semen por vaca inseminada.

En términos prácticos, es importante diferenciar sincronización de inducción de estros. La sincronización consiste en cortar o prolongar el ciclo estral a través de la utilización de hormonas o asociaciones hormonales que induzcan la luteolisis o prolonguen la vida del cuerpo Lúteo, de manera que un grupo de vacas entre en estro y ovule durante un corto periodo de tiempo o en un mismo día. Al contrario, la inducción de estros consiste en inducir el estro en vacas que están en anestro, a través de la utilización de hormonas o prácticas de manejo. Así mismo la sincronización y la inducción de estros son procesos distintos y aplicables a diferentes categorías de animales (Thatcher, 2004).

Menos del 5% de productores de carne usan eficientemente la inseminación artificial y aún menos usan protocolos de sincronización del estro en sus rebaños, esto es atribuible, como ya se mencionó, al hecho de que la detección del estro requiere tiempo, entrenamiento y una labor extra; bajo esta limitante se desarrollan protocolos de sincronización del estro que pueden eliminar considerablemente la tediosa tarea de detección del estro, además de ofrecer el potencial de mejorar los resultados de una inseminación artificial a tiempo fijo (Perry, Smith & Patterson, 2002).

Sincronización de estros con progesterona y estrógenos

Actualmente los protocolos para sincronizar el estro se basan principalmente en el uso de progestágenos, siendo el dispositivo intravaginal liberador de progesterona (CIDR) uno de los más utilizados (Carvalho et al., 2008). A pesar de que con el uso de estos agentes sincronizadores se pueden agrupar estratégicamente los estros, los resultados obtenidos al implementar programas de inseminación artificial (IA), en términos de fertilidad después de la

sincronización del estro, han sido bajos (Ross, Aller, Callejas, Butler & Alberio, 2004).

Con la finalidad de mejorar la respuesta cuando se sincroniza el estro con el CIDR, se ha implementado la aplicación de otras hormonas como la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la gonadotropina coriónica equina (eCG) y el estradiol, en sus diferentes presentaciones (benzoato de estradiol, cipionato de estradiol, valerato de estradiol). El estradiol tiene dos funciones principales. Cuando se aplica al inicio del tratamiento con progestágenos, tiene la finalidad de provocar la atresia de los folículos existentes, para así inducir el surgimiento de una nueva oleada folicular entre tres y cinco días después de su aplicación (Bo et al., 1994), lo que asegura la presencia de un folículo nuevo y un ovocito viable al finalizar el tratamiento. Cuando el estradiol se aplica al retiro del progestágeno, induce una retroalimentación positiva sobre el hipotálamo produciendo a su vez la liberación de GnRH, la cual es capaz de aumentar los pulsos y la frecuencia de la hormona Luteinizante (LH), logrando con ello que se unifique y se reduzca el tiempo en que se presenta la ovulación (Lucy, McDougall & Nation, 2004), lo que puede utilizarse para realizar la IA a un tiempo fijo (IATF) (Diskin, Austin & Roche, 2002).

Los resultados en la tasa de gestación con el uso del benzoato de estradiol han sido variables y oscilan entre el 45 y 47.5% (Ross et al., 2004), mientras que con el uso del cipionato de estradiol la tasa de gestación reportada es alrededor del 56% (Colazo et al., 2004). Sin embargo, los trabajos realizados son escasos y todavía se requiere más información al respecto y particularmente en ganado *Bos indicus* bajo condiciones de trópico.

La progesterona es usada para inhibir el desarrollo del cuerpo lúteo en hembras con ovulación reciente (Perry, Smith & Geary, 2004), reduciendo la ocurrencia del ciclo estral corto, con un tratamiento que consiste en la aplicación posparto de un dispositivo intravaginal que contiene progesterona (Bergamaschi, Vicente, Barbosa, Marques & Freitas, 2002). Por otro lado si se inicia el tratamiento en ausencia del cuerpo lúteo se provoca la formación de un folículo dominante

persistente que al ser ovulado produce un ovocito de baja calidad (Stevenson, Hoffman, Nichols, McKee & Krehbiel, 1997; Binelli, Hampton, Buhi & Thatcher, 1999), esto coincide con el trabajo de Sánchez et al. (1995) donde encontraron que el tratamiento con progesterona sintética en vacas que tienen un CL, al momento del tratamiento, resulta en un mayor porcentaje de preñez, comparado con las vacas tratadas en ausencia de un CL.

Lammoglia et al. (1998), encontró resultados bastante aceptables en cuanto a porcentaje de sincronización del celo y de preñez usando un protocolo que combina progestágenos y prostaglandina. Pero McDougal & Compton (2005) no encontró diferencia estadística significativa en el porcentaje de concepción después de la primera IA a tiempo fijo en vacas de leche, usando un protocolo basado en progesterona y estradiol comparado con el grupo control. Así mismo Xu, Burton, McDougall & Jolly (2000) reportaron un 53.2% de preñez después de la primera IA a tiempo fijo con un protocolo de sincronización del celo basado en progesterona y estradiol.

Engelhardt, Lean, Walton, Miller & King (1989) y Bo et al. (2005), encontraron que la adición de estrógenos en los programas que usan progesterona para la sincronización del estro induce la atresia del folículo dominante, consiguiendo de este modo el crecimiento de una nueva onda folicular. Así mismo se ha demostrado que los usos de estradiol administrado en fases de altos niveles de progesterona en sangre inducen la regresión del folículo dominante, mientras si se aplica en momentos de niveles básales de progesterona induce la liberación de LH y la ovulación (Bo, Colaso, Martinez, Kastelic & Mapleton, 2006).

Si el estrógeno se usa sin la aplicación de progesterona la regresión del folículo sería incompleta retrasándose la emergencia de la siguiente onda folicular. Esta persistencia se asocia a un aumento de estradiol sistémico que afecta disminuyendo la tasa de concepción. Entonces se concluye que el uso de estradiol es indispensable en el protocolo de sincronización del estro basado en la aplicación de progestágenos sintéticos (Bo et al., 1994).

El uso de estradiol después de un corto periodo de exposición a la progesterona es aplicado a vacas lecheras en anestro a fin de aumentar la inducción y precisión del estro (Day, Burke, Taufá, Day & McMillan, 2000), mostrando también que el desarrollo folicular después de una inyección de benzoato de estradiol 48 h después de finalizar el tratamiento con progesterona, resultó en un estro sincronizado en un 98 % de vacas tratadas y en una tasa de concepción del 70 % con inseminación artificial después de detectar el celo.

Desórdenes de infertilidad

Los desórdenes de infertilidad funcional como son: función folicular deteriorada, función luteal deficiente que ocasiona pérdida temprana de la preñez, ocasionan reducción de la eficiencia reproductiva que conlleva a un aumento del intervalo entre partos, gastos extras en semen e inseminación artificial, entre otros factores que resultarían en descarte prematuro del animal por razones de infertilidad, esto repercutiría en pérdida de futuras vaquillas de reemplazo o toretes para la venta (Del Águila, 2007).

El anestro es el factor de mayor importancia para la infertilidad de vacas en el posparto inmediato. Además la fase luteal corta que sigue al primer celo después del parto prolonga este periodo de infertilidad, sin embargo, la fase luteal corta se puede evitar con un tratamiento hormonal de GnRH precedido por una aplicación de progesterona (Thompson, Stevenson, Lamb, Grieger & Löest, 1999). Además, en condiciones de crianza extensiva la vaca permanece por más tiempo a pie de cría y el efecto negativo del ternero sobre el comportamiento reproductivo de la madre está directamente relacionado con la cantidad de leche consumida y la velocidad de crecimiento del ternero (Short, Bellows, Stagigmiller, Berarsinelli & Custer, 1990). Uno de los factores de anestro en vacas se debe quizá a un crecimiento folicular que solo llega hasta la etapa de desviación y no continua hasta la ovulación. Esto es común en vacas lactando, los signos que caracterizan a este problema son: ovarios pequeños y lisos, es decir, sin folículos ni cuerpo lúteo, a pesar de un crecimiento continuo bajo un patrón de dinámica de onda hasta la fase de desviación (Del Águila, 2007).

La baja disponibilidad de energía y de materia seca afecta la secreción de LH, pero también baja la capacidad de respuesta del ovario a la estimulación de la LH, esto conlleva a una función estrogénica inadecuada por parte de los folículos preovulatorios y una inadecuada estimulación del pico preovulatorio de LH, resultando en una ovulación retardada, o en su defecto, ocasiona condiciones anovulatorias (Del Águila, 2007). Así mismo Adamiak, Mackie, Watt, Webb & Sinclair (2005) demostraron en su estudio con vaquillas que el efecto del nivel de alimentación en la calidad del ovocito es dependiente de la condición corporal del animal, demostrando que un nivel alto de alimentación es beneficioso para la calidad del ovocito. Más aun en épocas de sequía se ve afectada acentuadamente, por la escasez de agua, la producción de materia verde disminuye en la mayoría de las especies vegetales (Bevitori et al., 2005).

2.3 Los minerales en la reproducción bovina

2.3.1 Los minerales y su importancia en la nutrición animal

La actividad reproductiva de los bovinos es nutricionalmente exigente y requieren de un suministro constante y adecuado de energía, proteína y minerales, principalmente. Así, el proceso reproductivo y la producción de carne y leche establecen la necesidad de suministrar diariamente los nutrientes requeridos ya que condiciones de subnutrición afectan considerablemente la respuesta animal. En la ganadería de carne y de doble propósito se aplican programas de alimentación basados, principalmente, en el uso masivo del recurso forrajero. Solamente se utilizan programas de suplementación alimenticia en aquellos hatos donde el suministro del forraje es limitante y en animales que económicamente lo justifican (Garmendia, 2015).

La mayoría de los pastos de las regiones tropicales no satisfacen completamente las necesidades de minerales en los animales que los pastan, como consecuencia de las limitaciones climáticas y del suelo que impone restricciones nutricionales a los pastos. La escasa disponibilidad de minerales en el suelo

afecta a los forrajes restando la concentración del elemento deficiente en sus tejidos y contribuyendo con el bajo crecimiento de la planta.

Los minerales se consideran como el tercer grupo de nutrientes limitante en la producción animal y su importancia radica en que son necesarios para la transformación de los alimentos en componentes del organismo o en productos animales como leche, carne, crías, piel, lana, etc.

Algunas de las funciones más importantes de los minerales para la producción de los rumiantes se notan a continuación (Huerta, 1997).

Funciones generales de los minerales dentro del organismo

- Conformación de la estructura ósea y dental (Ca, P y Mg)
- Equilibrio ácido-básico y regulación de la presión osmótica (Na, Cl y K)
- Sistema enzimático y transporte de sustancias (Zn, Cu, Fe y Se)
- Reproducción (P, Zn, Cu, Mn, Co, Se y I)
- Sistema inmune (Zn, Cu, Se, y Cr)

Funciones de los minerales con los microorganismos ruminales

- Procesos energéticos y de reproducción celular (P)
- Son activadores de enzimas microbianas (Mg, Fe, Zn, Cu y Mb)
- Producción de vitamina B12 (Co)
- Digestión de la celulosa, asimilación de nitrógeno no proteico (NNP) y síntesis de vitaminas del complejo B (S)
- Procesos metabólicos (Na, Cl y K)

Los minerales son nutrientes esenciales para todos los animales e influyen no solo en la eficiencia de producción sino también en la salud y resistencia del ganado en condiciones de libre pastoreo; sobre todo en condiciones de sequía, donde la escasez de forraje y su bajo contenido de nutrientes es el común denominador en el ambiente.

2.3.2 Trastornos causados por deficiencia de minerales

Los desbalances de minerales (deficiencias o excesos) en suelos y forrajes han sido considerados los responsables de la baja producción y problemas reproductivos de vacas en pastoreo, específicamente los problemas de bajo porcentaje de preñez, retención de placenta, abortos no infecciosos y muerte de la cría al parto son a menudo atribuidos a deficiencias de minerales. Otros problemas que son característicos cuando existen deficiencia de minerales son: pérdida de pelo (Vázquez, 2010), problemas de piel, diarrea, anemia, pérdida de apetito, anormalidades óseas, tetania y el fenómeno de pica, el cual es definido como el consumo de suelo, huesos, piedras y otros objetos extraños (McDowell & Arthington, 2005). La mejora reproductiva de vacas en pastoreo cuando se suplementan con minerales ha sido plenamente demostrada en diferentes regiones del mundo. En general se puede considerar que el porcentaje de pariciones se aumenta de 45 a 65% cuando se establece la tecnología adecuadamente; sin embargo, otros indicadores básicos relacionados con la producción de becerros también se incrementan considerablemente (Gutiérrez, 2015).

Las deficiencias de minerales en el ganado, han sido reportadas en casi todas las regiones del mundo y se consideran como minerales críticos para los rumiantes en pastoreo el Calcio (Ca), Fósforo (P), Sodio (Na), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Yodo (I), Selenio (Se) y Zinc (Zn); otros como el Cu, Co, Hierro (Fe), Se, Zn y Molibdeno (Mo) disminuyen conforme avanza la edad del forraje (McDowell, Conrad, Ellis & Loosi, 1984). Por otra parte, los requerimientos de minerales para los rumiantes dependen del tipo y nivel de producción, edad de los animales, nivel y forma química del elemento, interrelación con otros minerales, raza y adaptación del animal al suplemento (Salamanca, 2010).

En el Cuadro 1 se pueden observar los problemas de infertilidad que se pueden presentar por deficiencias de minerales.

Cuadro 1. Problemas de infertilidad y sus probables causas nutricionales

Problema de infertilidad	Deficiencia nutricional
Involución uterina retardada por retención placentaria o metritis	Cobre (Cu), Yodo (I), Vitaminas A, D y E.
Anestro e inadecuada función ovárica	Fósforo (P), Calcio (Ca), Cobre, Cobalto (Co), Manganeseo (Mn), Energía y Vitamina D
Celos repetidos y reabsorción embrionaria	Fósforo, Cobre, Cobalto, Manganeseo, Zinc (Zn), Yodo, Vitamina A, Energía, Proteína
Abortos	Manganeseo, Yodo, Vitamina A.

(Garmendia, 2015)

2.4 Literatura citada

- Adamiak, S., J., Mackie, K., Watt, R., G., Webb, R., & Sinclair, K., D. (2005). Impact of nutrition on oocyte quality: cumulative effects of body composition and diet leading to hyperinsulinemia in cattle. *Biology of Reproduction*, 73 (5), 918-926.
- Austin, E., J., Mihm, M., Evans, A., C., Knight, P., G., Ireland, J., L., Ireland, J., J., & Roche J., F. (2001). Alterations in intrafollicular regulatory factors and apoptosis during selection of follicles in the first follicular wave of the bovine estrous cycle. *Biology of Reproduction*. 64(3), 839-848.
- Acosta, T., J., Gestal, E., L., Gestal, M., O., Beg, M., A., & Ginther O., J. (2004). Differential blood flow changes between the future dominant and subordinate follicles, precede diameter changes during follicle selection in mares. *Biology of Reproduction*. 71(2), 502-507.
- Arthur, G., H., Noakes, D., E., & Pearson, H. (1991). *Reproducción y obstetricia en veterinaria*. 6ta ed. Nueva York: Interamericana McGraw-hill.
- Bao, B., Garverick, H., A., Smith, G., W., Smith, M., F., Salfen, B., E., & Youngquist, R. S. (1997). Changes in messenger ribonucleic acid encoding luteinizing hormone receptor, cytochrome P450-side chain cleavage, and aromatase are associated with recruitment and selection of bovine ovarian follicle. *Biology of Reproduction*. 56 (5), 1158-1168.
- Baruselli, P., S., Bo, G., A., Reis, E., L., Marques, M., O., & Sá, M., F. (Junio, 2005). *Introdução de IATF no manejo reprodutivo de rebanhos bovinos de corte no Brasil*. Trabajo presentado en VI Simposio Internacional de Reproducción Animal de Instituto de Reproducción Animal Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Beg, M., A., Bergfelt, D., R., Kot, K., Wiltbank, M. C., & Ginther, O. J. (2001). Follicular-fluid factors and granulosa-cell gene expression associated with follicle deviation in cattle. *Biology of Reproduction*. 64 (2), 432-441.
- Bergamaschi, M., A., C., Vicente, W., R., R., Barbosa, R., T., Marques, J., A., & Freitas, A., R. (2002). Sincronização da ovulação em fêmeas Nelore, com associação de progestagem, estrógeno e gonadotropina sérica de égua prenhe. *ARS Veterinaria Jaboticabal SP*, 18 (3), 267-272.
- Bevitori, K., Fonseca, M., P., Tilemahos, P., Z., Campos, V., & Kling, K., A. (2005). Avaliação qualitativa da Pastagem diferida de *Brachiaria de cumbes* Stapf sob pastejem, no período da seca por intermedio de três metodos de arrotragen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34 (1), 30-35.
- Binelli, M., Hampton, J., Buhi, W., C., & Thatcher, W., W. (1999). Persistent dominant follicle alters pattern of oviductal secretory proteins from cows at estrus. *Biology Reproduction*. 61 (1), 127-134.

- Bo, G., A., Adams, G., P., Pierson, R., A., Tribulo, H., E., Caclla, M., & Mopletoft, R., J. (1994). Follicular waves dynamics alter estradiol_{17B} treatment of heifers with or without a progestogen implant. *Theriogenology*, 41, 1555-1569.
- Bo, G., A., Cutaia, L., Chesta, P., Balla, E., Picinato, D., Peres, L., Maraña, D., Aviles, M., Menciahca, A., Veneranda, G., & Baruselli, P., S. (Junio, 2005). *Implementación de programas de inseminación artificial en rodeos de cría de Argentina*. Trabajo presentado en VI Simposio Internacional de Reproducción Animal de Instituto de Reproducción Animal Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Bo, G., A., Colaso, M., G., Martinez, M., F., Kastelic, J., P., & Mapletof, R., J. (Octubre, 2006). *Sincronización de la emergencia de la onda folicular y la ovulación en animales tratados con progestágenos y diferentes esteres de estradiol*, *Biotechnologia da Reprodução em Bovinos*. Segundo Simpósio Internacional de Reprodução Animal Aplicada. Londrina, Brasil.
- Borchert, K., M., Farin, C., E., & Washburn, S., P. (1999). Effect of estrus synchronization with Norgestomet on the integrity of oocytes from persistent follicles in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 77(10), 2742-2748.
- Campbell, N., I., Sexton, J., L., & Milner, A., R. (1991). Fasciola hepatica immuno-precipitation analysis of biosynthetically labelled antigens using sera from infected sheep. *Parasite Immunology*, 13 (1), 105 -108.
- Carvalho, J., B., P., Carvalho, N., A., T., Reis, E., L., Nichi, M., Souza, A., H., & Baruselli, P., S. (2008). Effect of early luteolysis in progesterone-based timed AI protocols in *Bos indicus*, *Bos indicus* X *Bos taurus*, and *Bos taurus* heifers. *Theriogenology*, 69 (2), 167-175.
- Castro, C., Sánchez, R., Iruegas, L., & Saucedo, G. (2001). Tendencias y Oportunidades de desarrollo de la red de leche en México. *FIRA Boletín Informativo*, 33 (317).
- Colazo, M., G., Kastelic, J., P., Martínez, M., F., Whittaker, P., R., Wilde, R., Ambrose, J., D., Corbett, R., & Mapletoft, R., J. (2004). Fertility following fixed-time AI in CIDR-treated beef heifers given GnRH or estradiol cypionate and fed diets supplemented with flax seed or sunflower seed. *Theriogenology*, 61 (6), 1115-1124.
- Cunningham, E., P. (1989). The genetic improvement of cattle in developing countries. *Theriogenology*, 31 (1):17-28.
- Day, M., L., Burke, C., R., Taufa, V., K., Day, A., M., & McMillan, K., L. (2000). The strategic use of estradiol to enhance fertility and submission rates of progestin-based estrus synchronization programs in dairy herds. *Journal of Animal Science*, 78 (3), 523-529.
- Dejarnete, J., M., House, R., B., Ayars, W., H., Wallace, R., A., & Marshall, C., E. (2004). Synchronization of estrus in postpartum beef cows and virgin heifers

- using combinations of melengestrol acetate, GnRH, and PGF2 α . *Journal of Animal Science*, 82 (3), 867-877.
- Del Aguila, L., L., L. (2007). *Evaluación de dos protocolos hormonales de sincronización de estro e inseminación artificial a tiempo fijo en vacas cebuinas bajo condiciones de crianza extensiva en la Amazonía*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Diskin, M., G., Austin, E., J., & Roche, J., F. (2002). Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 23 (1-2), 211-228.
- Duffy, P., Crowe, M., A., Boland, M., P., & Roche, J., F. (2000). Effect of exogenous LH pulses on the fate of the first dominant follicle in postpartum beef cows nursing calves. *Journal of Reproduction and fertility*, 118, 9-17.
- Edmonson, A., Lean, J., Weaver, L., Farver, D., T. & Weebster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72 (1), 68-78.
- Fundación Produce Oaxaca. (Octubre, 2007). Introducción. *Revista Agroproduce*.
- Gámez, B., J., R. (2009). *Diagnóstico del estado mineral de bovinos en San Juan Del Río, Choapam, Oaxaca*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Garmendia, J. (2015). Los minerales en la Reproducción Bovina. Recuperado de: <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/minerales.pdf>
- Gordon, I. (2006). *Tecnología de la reproducción de los animales de granja*. Zaragoza, España: Editorial Acriba S. A.
- Gutiérrez, O., E. 2015. Suplementacion de mineral para vacas en pastoreo. Engormix. Obtenido de Sitio Argentino de Produccion animal: http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/239-Suplementacion_en_pastoreo.pdf
- Hafez, E., S., E. & Hafez, B. (2002). Foliculogénesis, maduración del óvulo y ovulación. En Hafez, E., S., E. & Hafez, B. (Eds.), *Reproducción e Inseminación Artificial en Animales* (pp 70-83). México: McGraw Hill Interamericana.
- Henao, D., M., Carrillo, M., L., & Olivera M., A. (2004). Comportamiento durante el calor y dinámica folicular interestral en vacas BON (Blanco Orejinegro). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 17 (1), 39-43.
- Huerta, B., M. (1997). *Nutrición de rumiantes en pastoreo*. Memorias del curso Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo. Chapingo, México.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2002). Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. *Libro Técnico No. 5*. 2a ed. México: INIFAP.

- Knobill, E., & Neill, J., D. (1994). The physiology of reproduction. 2a ed. New York: Raven Press. Vol. 2.
- Lammoglia, M., A., Short, R., E., Bellons, S., E., Bellons, R., A., NacNeil, M., C., & Hafs, H., D. (1998). Induced and synchronized estrus in cattle: dose titration of estradiol benzoate in peripubertal heifers and postpartum cows after treatment with an intravaginal progesterone-releasing insert and prostaglandin F2 α . *Journal of Animal Science*. 76 (6), 1662-1670.
- Larson, R., L., & Kiracofe, G., H. (1995). Estrus after treatment with syncromate B in ovariectomized heifers is dependent on the injected estradiol valerate. *Theriogenology*. 44 (2), 177-187.
- Lucy, M., C., McDougall, S., & Nation, D., P. (2004). The use of hormonal treatment to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Animal Reproduction Science*, (82-83), 495-512.
- Magaña, J., Ríos, G., & Martínez, J. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14 (3), 105-114.
- Martínez C., E. (2006). *Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- McDougal, S., & Compton, C. (2005). Reproductive performance of anestrus dairy cows treated with progesterone and estradiol benzoate. *Journal of Dairy Science*, 88 (7), 2388-2400.
- McDowell, L., R., & Arthington, J., D. (2005). *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4a ed. Florida, Estados Unidos de América: Universidad de Florida Gainesville.
- McDowell, L., R., Conrad, J., Ellis, G., & Loosli, J. (1984). *Minerales para Rumiantes a Pastoreo en Regiones Tropicales*. Departamento de Ciencia Animal. CIAT. Universidad de Florida y Agencia de los EUA para el Desarrollo Internacional. Boletín 90.
- Moraes, J., C., F. (1994). Caracterizacão da inseminação artificial em vacas de corte. Rio grande. Dosul. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 18, 142-152.
- Niswender, G., D., Juengel, J., L., Silwa, P., J., Rollyson, M., K., & McIntush, E., W. (2000). Mechanisms controlling the function and life span of the corpus luteum. *Physiology Review*, 80, 1–29.
- Pech, V., Santos, J., & Montes, R. (2002). Función de producción de la ganadería de doble propósito en la zona oriente del estado de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*, 40 (2), 187-192.

- Pérez, Q. G. A., & Gómez G. M. G. (2005). Factores genéticos y ambientales que afectan el comportamiento productivo de un rebaño Pardo Suizo en el trópico. 1. Producción de leche. *Revista Científica FCV-LUZ*, 15 (2), 141-147.
- Perry, G., A., Smith, M., F., & Patterson, D., J. (2002). Evaluation of a fixed-time artificial insemination protocol for postpartum suckled beef cows. *Journal of Animal Science*, 80 (12), 3060-3064.
- Perry, G., A., Smith, M., F., & Geary, T., W. (2004). Ability of intravaginal progesterone inserts and melengestrol acetate to induce estrus cycles in postpartum beef cows. *Journal of Animal Science*, 82 (3), 695-704.
- Preston, T., R. (1982). Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. *Journal of Animal Science*, 54 (4), 877-884.
- Ramos M., P. (2009). Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Roa, N., Linares, T., Díaz, T., & Chacin, F. (2006). Ondas foliculares ováricas en vacas Brahman y mestizas (*Bos indicus* x *Bos taurus*), ubicadas en los llanos centrales venezolanos. *Zootecnia tropical*. 24 (3), 297-306.
- Robinson, R., S., Mann, G., E., Lamming, G., E., & Wades, D., C. (2001). Expression of oxytocin, oestrogen and progesterone receptors in uterine biopsy samples throughout the oestrous cycle and early pregnancy in cows. *Biology of Reproduction*, 122 (6), 965-979.
- Román, P., H. (1981). Potencial de producción de los bovinos en el trópico de México. *Ciencia Veterinaria*, 3, 394-429.
- Ross, P., J., Aller, J., F., Callejas, S., S., Butler, H., & Alberio, R., H. (2004). Estradiol benzoate given 0 or 24 h after the end of progestagen treatment in postpartum suckled beef cows. *Theriogenology*. 62 (1-2), 265-273.
- Ruíz, C., Ávila, C., García, L., & Brunett, L. (2008). Sustentabilidad financiera: El caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 12 (22).
- Salamanca, A. (2010). Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista electrónica de Veterinaria*, 11 (9), 1-10.
- Sánchez, T., Werhman, M., E., Kojima, F., N., Cupp, A., S., Bergfeld E., G., Peters, K., E., Mariscal, V., Kittok, R., J., & Kinder, J., E. (1995). Dosage of the synthetic progestin, norgestomet influences luteinizing hormone pulse frequency and endogenous secretion of 17B-estradiol in heifers. *Biology of Reproduction*, 52, 462-469.
- Senger, P., L. (2005). Pathways to Pregnancy and Parturition. 2a ed.
- Sepúlveda, N., Risopatrón, J., Rodríguez, F., & Rodero, E. (2003). Fertilidad en vacas lecheras asociada a la sincronización de celos e inseminación a

- tiempo fijo (IATF) utilizando GnRH y PGF2. *Revista Científica FCV-LUZ*, 8 (3).
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (Septiembre, 2016). *Boletín de Leche*. México.
- Shirasuna, K., Asaoka, H., Acosta, T., J., Wijayagunawardane, M., Ohtani, M., Hayashi, K., Matsui, M., & Miyamoto, A. (2004). Real-time dynamics of prostaglandin F2 α release from uterus and corpus luteum during spontaneous luteolysis in the cow. *Journal of Reproduction and Fertility*, 128, 189-195.
- Short, R., E., Bellows, R., A., Stagigmiller, R., O., Berardinelli, J., G., & Custer, E., E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68 (3), 799-816.
- Silva, M., J., & Price, A., C. (2000). Effect of follicle-stimulating hormone on steroid secretion and messenger ribonucleic acid encoding cytochromes P450 aromatase and cholesterol side-chain cleavage bovine granulosa cells in vitro. *Biology Reproduction*, 62 (1), 186-191.
- Stevenson, J., S., Hoffman, D., P., Nichols, D., A., McKee, P., M., & Krehbiel, C., L. (1997). Fertility in estrus-cycling and non-cycling virgin heifers and suckled beef cows after induced ovulation. *Journal of Animal Science*, 75 (5), 1343-1350.
- Thatcher, W., W. (Marzo, 2004). *Utilização de inseminação artificial em tempo fixo (IATF) como estratégia para aumentar a taxa de prenhez em vacas leiteiras em lactação*. Trabajo presentado en VIII Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos, Uberlândia – Minas Gerais, Brasil.
- Thompson, K., E., Stevenson, J., S., Lamb, G., C., Grieger, D., M., & Löest, L., A. (1999). Follicular, hormonal, and pregnancy response of early postpartum suckled beef cows to GnRH, norgestomet and prostaglandin F2 α . *Journal of Animal Science*, 77 (7):1823-1832.
- Vázquez, M., O., V. (2010). El Zinc en la nutrición animal. Tópicos de Zootecnia y Nutrición Animal. Recuperado de <http://zootecniaynutricionanimal.blogspot.mx/>
- Xu, Z., Z., Burton, L., J., McDougall, S., & Jolly, P., D. (2000). Treatment or noncyclic lactating dairy cows with progesterone and estradiol or with progesterone, GnRH, prostaglandin F2 α and estradiol. *Journal Dairy science*, 83 (3), 464-470.
- Youngquist, R., S., & Threlfall, W., R. (2007). Current Therapy in large animal, 2a ed. Editorial Saunders Elsevier.

3. SUPLEMENTACIÓN DE MINERALES EN EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO Y PRODUCTIVO DE GANADO BOVINO EN EL TRÓPICO

3.1 Resumen

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la suplementación mineral en el comportamiento reproductivo y productivo de vacas de doble propósito en el trópico mexicano. El experimento se realizó en dos explotaciones comerciales de “vacas de doble propósito” ubicadas en Tihuatlán y Castillo de Teayo, Veracruz, México. Se utilizaron 132 vacas distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos por rancho. T1: con suplementación mineral y T2: sin suplementación mineral. La mezcla suplementada contenía 9 minerales (Cu, Zn, P, Se, Co, Mn, I, Na y Ca). Las vacas fueron sincronizadas, inseminadas y a los 35 días se realizó el diagnóstico de gestación mediante ultrasonografía. Los resultados se analizaron utilizando el procedimiento LOGISTIC y MIXED de SAS. Se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre tratamientos (T1: 64% vs T2: 50%) para la fertilidad al primer servicio. La producción de leche fue mayor ($P<0.05$) en las vacas que recibieron el T1 (5.3 L) respecto a las del T2 (4.9 L). En conclusión, se muestra la factibilidad de suplementar minerales en bovinos de doble propósito con el fin de influir sobre la eficiencia reproductiva y la producción de leche de vacas manejadas en condiciones de pastoreo en el trópico mexicano.

Palabras clave: inseminación, suplementación mineral, fertilidad, producción de leche.

SUPPLEMENTATION OF MINERALS ON REPRODUCTIVE AND PRODUCTIVE PERFORMANCE OF CATTLE IN A TROPICAL REGION

3.2 Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of added mineral supplementation with yeast on the reproductive and productive performance of dual purpose cows. The experiment was carried out in two commercial farms located in Tihuatlán and Castillo de Teayo, Veracruz, Mexico. A total of 132 cows randomly distributed in two treatments per ranch were used. T1: with mineral supplementation, and T2: without mineral supplementation. The supplemented mixture contained nine minerals (Cu, Zn, P, Se, Co, Mn, I, Na and Ca) and yeast ($15,000 \times 10^6$ live cells). The animals were synchronized, inseminated and the gestation diagnostic was made by ultrasonography after 35 days. The results were analyzed using the LOGISTIC and MIXED procedures of SAS. There were significant differences ($P < 0.05$) between treatments (T1: 64% vs T2: 50%) for fertility at the first service. Milk production in cows receiving T1 (5.3 L) was higher ($P < 0.05$) than in T2 (4.9 L). In conclusion, the feasibility of supplementing minerals in dual purpose cattle has a positive influence in the reproductive efficiency and milk production of cattle under grazing conditions in the tropics.

Key words: insemination, mineral supplementation, fertility, milk production.

3.3 Introducción

La eficiencia reproductiva es un factor importante para el éxito de la ganadería bovina. El 55% de la producción bovina mundial está localizada en los trópicos, principalmente conformada por animales *Bos indicus* (Larson & Kiracofe, 1995) y sus cruza con ganado europeo. Esta ganadería se desarrolla en condiciones extensivas y depende del estado y conservación de las pasturas (Bevitori, Fonseca, Tilemahos, Campos & Kling, 2005) como principal fuente de nutrientes. Entre las principales causas de pérdidas económicas provocadas por desbalances o deficiencias nutricionales, se encuentran, intervalos entre partos y días abiertos prolongados (Baruselli, Bo, Reis, Marques & Sá, 2005) además de un pobre nivel de tecnificación de las unidades de producción. A pesar de los avances tecnológicos, el rendimiento reproductivo del ganado en el trópico está influido negativamente por factores que impiden la expresión del potencial genético de los animales (Borchert, Farin & Washburn, 1999). La inseminación artificial (IA) permite el mejoramiento genético y el incremento del potencial productivo y reproductivo de los animales criados en zonas tropicales (Cunningham, 1989); sin embargo, el nivel de eficiencia reproductiva en un hato depende en gran medida de una nutrición adecuada.

Los minerales son necesarios para la transformación de los alimentos en componentes del organismo o en productos de origen animal importantes para la humanidad, como leche, carne, crías, piel, lana, etc., desempeñan también un papel fundamental en la salud y la reproducción de la vaca de cría. Huerta (1997), mencionó que el P, Zn, Cu, Mn, Co, Se y I, son minerales con gran importancia para la reproducción de los bovinos. El buen suministro de sales minerales en diferentes regiones tropicales ha incrementado el porcentaje de partos de 10 al 50% y han disminuido los abortos de 10% a valores menores de 1% (McDowell, Conrad, Ellis & Loosli, 1984). Sin embargo, el impacto de una premezcla mineral depende de una formulación correcta de acuerdo a las necesidades y requerimientos de los animales.

En consideración a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento reproductivo y productivo de vacas de doble propósito al ofrecer suplementación mineral.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en dos explotaciones comerciales de ganado de doble propósito: Rancho el Paraíso y Rancho Nuevo, ubicados en los municipios de Tihuatlán y Castillo de Teayo, Veracruz, respectivamente. Rancho Nuevo (R1) se localiza a 20°72' N; 97°62'O, el Paraíso (R2) a 20°64'Norte y 97°54'O, ambos a 80 msnm, con clima cálido sub-húmedo, lluvias en verano, y sequía intra-estival extremosa, la fórmula climática es Aw''_1 (e), con una humedad relativa promedio anual de 53%, la temperatura media anual es de 22°C y una precipitación pluvial media de 1300 mm anuales, las lluvias abundantes están distribuidas en verano y principios de otoño (García, 2004).

3.4.2 Selección de animales

Se utilizaron 132 hembras adultas de 1 a 8 lactancias con un peso vivo (PV) aproximado de 500 kg, condición corporal de 4.5 a 6.5 en la escala de 1-9, la mayoría cruzadas de Pardo Suizo x Cebú. Las vacas fueron distribuidas aleatoriamente por número de partos, días en leche y producción de leche en dos tratamientos, T1: con suplementación mineral y T2: sin suplementación mineral.

3.4.3 Alimentación y manejo de los animales

Las vacas se alimentaron en praderas de pasto pangola (*Digitaria decumbens*), pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), pasto toledo (*Brachiaria brizantha*) y gramas nativas (*Paspalum spp*). Se les proporcionó agua fresca y limpia *ad libitum*. Las vacas fueron ordeñadas por las mañanas bajo el esquema de rejeguería (vaca ordeñada con presencia del becerro).

3.4.4 Obtención de muestras de sangre

Las muestras de sangre se extrajeron de la vena yugular, utilizando agujas y tubos al vacío sin anticoagulante. Se colectaron aproximadamente 20 mL de sangre por animal, según la metodología descrita por Fick et al. (1979). Estas muestras se centrifugaron a 3,000 rpm durante 15 minutos para separar el suero.

3.4.5 Diagnóstico del estado mineral de los animales

Para decidir una estrategia de suplementación se realizó un diagnóstico del estado nutricional de los animales. Para la determinación de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P) se utilizó suero sanguíneo desproteinizado. Ca, Mg, Na y K se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica (AAnalyst 700 de Perkin Elmer, E. U. A.), mientras que P se analizó por espectrometría ultravioleta/visible (Lambda 33, Perkin Elmer, E.U.A.) (Fick et al. 1979).

Para la determinación de cobre (Cu) y zinc (Zn), el suero sanguíneo fue diluido con agua desionizada en proporciones 1:1 y 1:4 respectivamente. Para el hierro (Fe), la cuantificación se hizo de manera directa. Estas determinaciones fueron realizadas por espectrometría de absorción atómica (AAnalyst 700 de Perkin Elmer, E.U.A.) (Fick et al. 1979). Los resultados del diagnóstico se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Diagnóstico mineral de los animales por ranchos y rangos óptimos

	P (mg/dL)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mEq/L)	K (mEq/L)
R1	5.52	0.49	0.68	1.78	137.45	25.72	590.36	5.66
R2	6.82	0.46	0.75	1.66	130.24	26.20	262.69	5.04
Rango*	4.5 -7	0.8 -1.5	0.8 -1.4	1.3 -2.5	80 -110	18 -35	135 - 150	3.9 - 5.8

Rancho Nuevo (R1), Rancho Paraíso (R2), * Valores de referencia en sangre (Puls, 1988).

3.4.6 Tratamientos

Los tratamientos implementados y su distribución se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos implementados

Suplementación mineral (T1)		Sin suplementación mineral (T2)	
Rancho	Vacas	Rancho	Vacas
R1	38	R1	36
R2	34	R2	24

Tratamiento 1 (T1), Tratamiento 2 (T2), Rancho Nuevo (R1), Rancho el Paraíso (R2).

La premezcla mineral suplementada en el tratamiento 1 se formuló con 9 minerales (Cu, Zn, P, Se, Co, Mn, I, Na y Ca). La suplementación mineral se realizó al momento de la ordeña de manera individual (120 g/vaca/d), este procedimiento se inició tres meses antes de la sincronización del estro de las vacas. El aporte de la premezcla mineral se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Aporte estimado de la mezcla mineral por kg de MS consumida

Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Se (ppm)	Co (ppm)	I (ppm)	P (%)	Na (%)	Ca (%)
20	50	40	0.42	0.21	0.59	14	9	9

La mezcla mineral contenía 15000×10^6 UFC/g de *Saccharomyces cerevisiae*

3.4.7 Sincronización de celos

La sincronización de celos se realizó con un protocolo con base en progesterona, consistiendo en lo siguiente: el día cero se realizó la introducción del dispositivo intravaginal (DIB®, Sintex) con una concentración de 1 g de progesterona natural, ocho días después se aplicaron 2 mL de prostaglandinas vía intramuscular (Cloprostenol sódico, Inducel®, Virbac) por animal, dos días más tarde, se retiró el DIB y se aplicaron 0.5 mL de estrógenos vía intramuscular

(Cipionato de estradiol, E.C.P. ®, Zoetis). A las 12 h después del retiro del DIB se realizó la detección de celos.

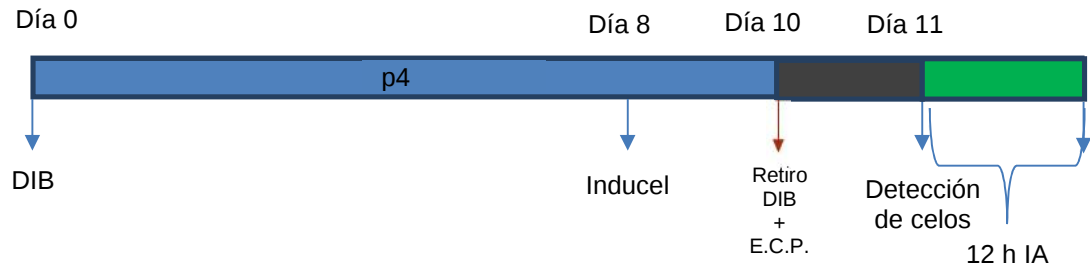


Figura 1. Protocolo de sincronización del estro

3.4.8 Inseminación artificial

La inseminación artificial se realizó siguiendo la regla am-pm, es decir, las vacas que presentan celo en la mañana se inseminan por la tarde y viceversa. Se utilizó un aplicador tipo francés de acero inoxidable, se aplicaron pajillas de 0.5 ml con concentración de 50×10^6 espermatozoides por dosis de semen congelado de toros de fertilidad conocida.

3.4.9 Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se realizó vía rectal a los 35 días después del primer servicio y al día 150 mediante el uso de ultrasonografía (HandScan V8, Sunway Medical, China) con un transductor lineal de 5 MHz de frecuencia.

3.4.10 Variables evaluadas

Días a la primera inseminación y días abiertos. Los días a la primera inseminación fueron considerados a partir del parto hasta la primera inseminación, sin tomar en cuenta el periodo de espera voluntario. Los días abiertos contemplan desde el día del parto hasta el día que la vaca recibe el servicio efectivo.

Porcentaje de gestación al primer servicio. Se calculó el porcentaje de concepción al primer servicio con base en el número de vacas con diagnóstico positivo a los 35 días de su servicio, entre el número total de vacas que recibieron su primer servicio.

Porcentaje de gestación acumulado al día 150 posparto. El porcentaje de gestación acumulado al día 150 posparto se calculó tomando en cuenta el número de vacas con diagnóstico de gestación positivo hasta ese día, con relación al total de vacas que recibieron servicio durante 150 días.

Condición corporal. Los valores de condición corporal se registraron para cada vaca al momento de la inseminación artificial y los diagnósticos de gestación. En escala de 1 a 9 para vacas de cría (Herd & Sprott, 1986).

Producción de leche. Dada la naturaleza del ganado doble propósito, la producción de leche de tres cuartos de la ubre por vaca se registró mensualmente a partir del primer mes de suplementación y hasta el sexto. Las vacas no se ordeñaban a fondo para permitir que las crías se alimentaran de la leche residual. La ordeña era una vez al día por la mañana.

Variables categóricas

Las variables de respuesta discretas como porcentaje de gestación por servicio (1=gestante, 0=vacía), porcentaje de gestación acumulado al día 150 (1=gestante, 0=vacía), se analizaron mediante una regresión logística múltiple, utilizando el procedimiento LOGISTIC de SAS. Para estas variables de respuesta se supuso una distribución binominal, donde la probabilidad (P_i) de que la variable respuesta asuma el valor 1 (ocurrencia del evento) se modeló con la siguiente expresión:

$$P_i = \text{Prob}(y^1 = y^1 | x^1, \dots, x_k) = \frac{1}{1 + \exp[-\beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i]}$$

Donde $\text{Prob}(y^1 = y^1 | x^1, \dots, x_k)$ es la probabilidad de la variable respuesta siendo modelada, y^1 es el primer valor ordenado de la variable de respuesta (gestación); β_0 es un intercepto, y los β_i 's son los coeficientes de regresión asociados con las variables independientes (x_i). Las variables independientes incluidas en el modelo fueron: tratamiento, rancho, número de partos, genotipo, año de parto y estación de parto.

Variables continuas

Las variables numéricas (días a la primera inseminación, días abiertos, producción de leche) se analizaron a través del procedimiento MIXED (SAS, 2009). Y se modeló con la siguiente expresión:

$$Y_{ijk} = R_j + T_k + R * T + \sum_{n=1}^n \alpha_{ik} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable respuesta del i-ésimo animal del j-ésimo rancho en el k-ésimo tratamiento.

R_j = Efecto fijo del j-ésimo rancho (j=Rancho Paraíso y Rancho Nuevo).

T_k = Efecto fijo del k-ésimo tratamiento (k=Suplementados con sal mineral y Sin suplementar).

α_{ik} = Coeficientes de las regresiones aleatorias de vacas en el tratamiento respectivas, correspondientes a los polinomios de Legendre de grado n.

e_{ijk} = Residual.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Fertilidad

En el Cuadro 5 se muestran los coeficientes de regresión, riesgos relativos y la probabilidad de que las vacas que recibieron el tratamiento quedaran gestantes al primer servicio. Se encontró diferencia ($P < 0.05$) entre tratamientos independientemente de los otros efectos (rancho, genotipo, año de parto y estación de parto). Huerta (1997), menciona que los minerales son necesarios para la transformación de los alimentos en componentes del organismo o en productos animales como leche, carne, crías, etc. Por tal motivo existió una diferencia significativa al utilizar la suplementación mineral. En cuanto al efecto del número de parto, este fue significativo para los partos 1 al 3, probablemente debido que las vacas fueron más jóvenes y tendieron a tener un mejor estado de salud y condición corporal, que las vacas de más de 3 partos. Toni, Vincenti, Ricci y Schukken (2015), también detectaron mayor fertilidad en vacas primíparas sanas que en vacas multíparas (32% vs. 22%). Las diferencias en el rendimiento reproductivo son más pronunciadas en vacas multíparas que primíparas, especialmente en sistema de manejo en pastoreo con suplementación (Piccardi, Capitaine, Balzarini & Bó, 2013). En el caso del rancho, genotipo, año de parto y estación de parto no existió efecto significativo.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión ($\pm$ E.E.), riesgos relativos (IC 95%) y nivel de probabilidad para los efectos fijos de tratamiento de las vacas al primer servicio por rancho, número de parto, genotipo, año y estación de parto de vacas doble propósito en pastoreo de praderas tropicales en Veracruz, México

Parámetro	Coeficiente de regresión $\pm$ Error estándar	Riesgo relativo (IC 95%)	Pr > c2
Intercepto	-1.86 $\pm$ 0.98	0.16	0.0582
Tratamiento¹			
Con sal mineral	0.85 $\pm$ 0.39	2.35[1.09,5.08]	0.0301
Sin sal mineral	Referencia		
Rancho			
Rancho Nuevo	0.28 $\pm$ 0.40	1.32[0.60,2.91]	0.4907
Rancho Paraíso	Referencia		
Número de Partos			
1	2.06 $\pm$ 1.03	7.83[1.03,59.40]	0.0465
2	3.13 $\pm$ 1.19	22.77[2.23,232.89]	0.0084
3	1.96 $\pm$ 0.97	7.11[1.05,48.02]	0.0442
4	1.24 $\pm$ 0.95	3.47[0.54,22.23]	0.1891
5	1.63 $\pm$ 0.96	5.08[0.78,33.15]	0.0893
6	1.48 $\pm$ 1.08	4.41[0.54,36.25]	0.1678
7	Referencia		
Genotipo²			
Cebú	-1.06 $\pm$ 0.76	0.35[0.08,1.52]	0.159
Cruza	-0.01 $\pm$ 0.42	0.99[0.43,2.26]	0.9738
Suizo	Referencia		
Año de Parto			
2014	0.97 $\pm$ 1.02	2.64[0.36,19.34]	0.3406
2015	Referencia		
Estación de Parto³			
Lluvias	-0.14 $\pm$ 0.42	0.87[0.38,1.99]	0.743
Secas	Referencia		

¹ Las vacas en tratamiento recibieron 120g por día de una mezcla con macros y microminerales, las concentraciones se presentan en el Cuadro 4.

² Las vacas se agruparon en tres categorías de genotipo, dependiendo de la apariencia física del animal.

³ La primera mitad del año correspondió a la estación de secas y el resto a la estación de lluvias.

El porcentaje de gestaciones por tratamiento fue de 64 y 50% para el Tratamiento 1 y Tratamiento 2 respectivamente (Cuadro 6). Obteniéndose una mejora en la fertilidad de 14 puntos porcentuales. Esto permite inferir que el suplementar minerales es una buena alternativa para incrementar la fertilidad del hato. Esto es consistente con lo reportado por McDowell et al., (1984) quienes encontraron que el buen suministro de sales minerales en diferentes regiones tropicales ha incrementado el porcentaje de partos de 10 al 50% y han disminuido los abortos de 10% a valores menores de 1%, es decir han mostrado una reducción de 9 puntos porcentuales. La calidad de los alimentos y sus desequilibrios de minerales (deficiencias o excesos) han sido considerados como responsables de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (Salamanca, 2010; Kreplin & Yaremico, 2009).

Cuadro 6. Efecto de la suplementación mineral en la fertilidad al primer servicio de vacas doble propósito

Tratamientos	n	Gestantes	No gestantes	Porcentaje de gestación (%)
T1	72	46	26	64 a
T2	60	30	30	50 b
Interacción tratamiento x rancho				
T1 R1	38	25	13	66 a
T1 R2	34	21	13	62 a
T2 R1	36	19	17	53 a
T2 R2	24	11	13	46 a

T1 (suplementación mineral), T2 (Sin suplementación mineral), R1 (Rancho Nuevo), R2 (Rancho Paraíso). Medias con diferente literal en la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

El Cuadro 7 muestra los coeficientes de regresión, riesgos relativos y la probabilidad para la variable fertilidad acumulada al día 150 de gestación. Se encontró diferencia ($P<0.05$) entre los tratamientos independientemente de los otros efectos (rancho, genotipo, año de parto y estación de parto) esto probablemente debido a que las vacas siguieron recibiendo la suplementación y

las que no quedaron gestantes al primer servicio pudieron haber quedado en algún servicio posterior.

En cuanto al efecto número de parto, este fue significativo ($P < 0.05$) para la mayoría de los partos a excepción del parto 2 y 6, en el primero debido a que la mayoría de las vacas de segundo parto quedaron gestantes en su primer servicio y las vacas con más de 6 partos son vacas viejas que pueden presentar problemas reproductivos diversos. La metritis es uno de los principales desórdenes que afectan la fertilidad de las vacas, esta no tiene efecto sobre el rendimiento reproductivo de vacas primíparas ya que estas se recuperan más rápidamente que las multíparas (Toni et al., 2015), asimismo, los días abiertos en vacas multíparas tienden a ser más alargados (Piccardi et al., 2013). En el caso de genotipo, año de parto y estación de parto no se encontró diferencia alguna ($P > 0.05$).

Cuadro 7. Coeficientes de regresión ($\pm$ E.E.), riesgos relativos (IC 95%) y nivel de probabilidad para los efectos fijos de tratamiento de la fertilidad acumulada en el día 150 de gestación por rancho, numero de parto, genotipo, año y estación de parto de vacas doble propósito

Parámetro	Coeficiente de regresión $\pm$ Error estándar	Riesgo relativo (IC 95%)	Pr > χ^2
Intercepto	-2.51 $\pm$ 1.34	0.08	0.0608
Tratamiento¹			
Con sal mineral	1.74 $\pm$ 0.84	5.69[1.09,29.79]	0.0394
Sin sal mineral	Referencia		
Rancho			
Rancho Nuevo	1.11 $\pm$ 0.75	3.04[0.70,13.24]	0.1394
Rancho Paraíso	Referencia		
Número de Partos			
1	3.44 $\pm$ 1.32	31.04[2.34,411.97]	0.0092
2	15.30 $\pm$ 324.00		0.9623
3	3.47 $\pm$ 1.24	32.14[2.86,361.83]	0.005
4	4.21 $\pm$ 1.43		0.0033
5	3.33 $\pm$ 1.18	28.02[2.78,282.68]	0.0047
6	15.36 $\pm$ 325.60		0.9624
7	Referencia		
Genotipo²			
Cebú	-0.32 $\pm$ 1.06	0.72[0.09,5.80]	0.761
Cruza	0.39 $\pm$ 0.80	1.47[0.31,7.00]	0.6273
Suizo	Referencia		
Año de Parto			
2014	0.27 $\pm$ 1.51	1.31[0.07,25.16]	0.8585
2015	Referencia		
Estación de Parto³			
Lluvias	-0.15 $\pm$ 0.75	0.86[0.20,3.77]	0.8423
Secas	Referencia		

¹ Las vacas en tratamiento recibieron 120 g por día de una mezcla con macros y microminerales, las concentraciones se presentan en el Cuadro 4.

² Las vacas se agruparon en tres categorías de genotipo, dependiendo de la apariencia física del animal.

³ La primera mitad del año correspondió a la estación de secas y el resto a la estación de lluvias.

En el Cuadro 8 se muestra la fertilidad acumulada al día 150 postservicio. De 132 vacas, 67 de 72 quedaron gestantes mediante la suplementación obteniendo como respuesta un 93% de fertilidad. En comparación con el 85 % de la fertilidad de las que no fueron suplementadas. McDowell y Arthington (2005) mencionan la mejora reproductiva de vacas en pastoreo cuando se suplementan con minerales ha sido plenamente demostrada en diferentes regiones del mundo; en general se puede considerar que el porcentaje de pariciones se aumenta del 45% al 65% cuando se establece la tecnología adecuadamente; sin embargo, otros indicadores básicos relacionados con la producción de becerros también se incrementan considerablemente. Teniendo como respuesta que la suplementación mineral es una buena técnica para mejorar nuestros ranchos.

Cuadro 8. Efecto de la suplementación mineral en la fertilidad acumulada al día 150 de vacas doble propósito

Tratamientos	n	Porcentaje de gestación		
		Gestantes	No gestantes	(%)
T1	72	67	5	93 a
T2	60	51	9	85 b
Interacción tratamiento x rancho				
T1 R1	38	36	2	95 a
T1 R2	34	31	3	91 a
T2 R1	36	33	3	92 a
T2 R2	24	18	6	75 a

T1 (suplementación mineral), T2 (Sin suplementación mineral), R1 (Rancho Nuevo), R2 (Rancho Paraíso). Medias con diferente literal en la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

3.5.2 Producción de leche

La producción de leche fue otra variable evaluada en este trabajo de investigación. Se midió la productividad del total de animales en los tratamientos. Estadísticamente existió efecto significativo ($P < 0.05$) de la suplementación mineral (Cuadro 9), las vacas que recibieron suplementación estuvieron 0.400 kg por encima de las que no se suplementaron (Cuadro 10). Esto se asemeja a un estudio realizado por Zanetti et al. (2010) quien mostró un aumento en la producción de leche y una reducción en la incidencia de mastitis subclínica en animales suplementados con minerales.

Cabe señalar que en este sistema de explotación, las vacas son separadas de sus crías al medio día y se les ordeñan solo tres cuartos. En el caso del efecto rancho existe una diferencia ($P < 0.05$) de 0.500 kg posiblemente debida al tipo de manejo de cada unidad de explotación (Cuadro 9 y 10).

En cuanto las interacciones entre los efectos (Cuadro 9) se mostraron diferencias ($P < 0.05$) principalmente en el caso (R2 T1 Vs R2 T2), donde la suplementación mineral permitió un incremento de la producción de 0.900 kg, por lo contrario, no existió efecto ($P > 0.05$) de la suplementación en Rancho Nuevo (R1). Estas diferencias pudieron deberse a los ranchos, ya que el tipo de relieve en Rancho Nuevo presenta más pendientes y el ganado tiene que caminar distancias más largas para ser ordeñado.

Cuadro 9. Probabilidades asociadas a la producción de leche por tratamiento, rancho y sus respectivas interacciones en vacas de doble propósito

Efectos	Combinaciones		Estimador (Kg)	Error estándar	Pr > c2
Tratamiento (T)	T1	T2	0.4122	0.1689	0.0152
Rancho (R)	R1	R2	-0.5482	0.1675	0.0012
	R1 T1	R1 T2	-0.03238	0.2004	0.9985
	R1 T1	R2 T1	-0.9928	0.2261	<.0001
Interacciones	R1 T1	R2 T2	-0.136	0.2541	0.9504
	R1 T2	R2 T1	-0.9604	0.2206	0.0001
	R1 T2	R2 T2	-0.1036	0.2472	0.9752
	R2 T1	R2 T2	0.8568	0.2702	0.009

T1 (Suplementación mineral), T2 (Sin suplementación mineral), R1 (Rancho Nuevo), R2 (Rancho Paraíso)

Cuadro 10. Medias de producción de leche (kg de leche/vaca/día) por rancho y sus tratamientos para vacas de doble propósito

Efectos		Estimador (kg)	Error estándar
Rancho (R)	Tratamiento (T)		
	T1	5.2718	0.1152
	T2	4.8596	0.1236
R1		4.7916	0.1002
R2		5.3398	0.1351
Interacción tratamiento x rancho			
R1	T1	4.7754	0.1477
R1	T2	4.8078	0.1355
R2	T1	5.7682	0.1741
R2	T2	4.9114	0.2067

T1 (Suplementación mineral), T2 (Sin suplementación mineral), R1 (Rancho Nuevo), R2 (Rancho Paraíso)

En la Figura 2 se muestran las interacciones entre los tratamientos por rancho y sus errores estándar. En donde en el rancho R2 la utilización de la suplementación tendió a aumentar la producción de leche en comparación del rancho R1, esto pudo deberse en parte, a factores de estrés ya que los animales caminaban distancias prolongadas para ser ordeñadas en el rancho R1.

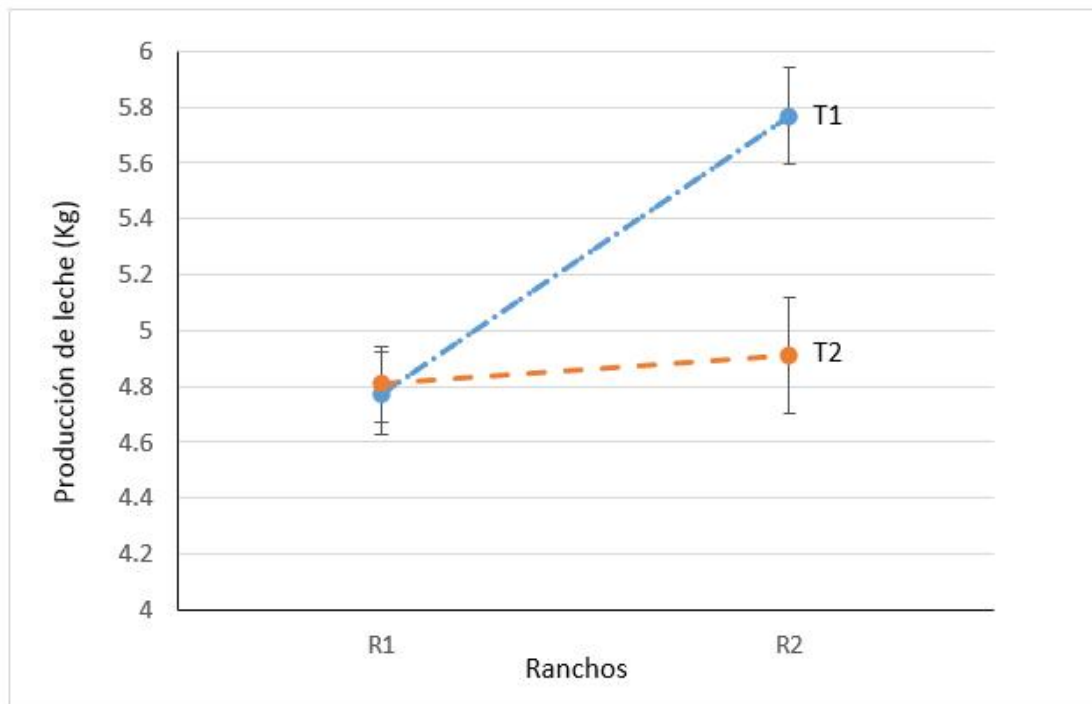


Figura 2. Efecto de la interacción tratamiento por rancho en la producción de leche de vacas de doble propósito.

3.6 Conclusiones

La utilización de la suplementación mineral mejora el comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito. Debido a que la fertilidad al primer servicio se incrementó del 50% al 64% en las vacas que recibieron la suplementación mineral, mostrando una mejora de 14 puntos porcentuales.

El porcentaje de gestación acumulado al día 150 mantuvo la misma tendencia que la fertilidad al primer servicio y se incrementó del 85 al 93%, mostrando una mejora de 8 puntos porcentuales.

La producción de leche fue 400 g más alta en las vacas que recibieron la suplementación mineral, esto en términos económicos mejora la productividad en los sistemas doble propósito donde se realizó el trabajo de investigación.

3.7 Implicaciones

La adición de minerales (Cu, Zn, Se, P, Ca, Mg) tiene efectos positivos sobre el estado nutricional de los animales y las variables reproductivas (días abiertos, intervalo entre partos, servicios por concepción, porcentaje de gestación). La suplementación con una mezcla mineral a vacas de doble propósito en periodo de ordeña implica una mejora en la fertilidad y producción de los hatos utilizados en este estudio. Sin embargo, es importante seguir investigando los mecanismos por los cuales la suplementación mineral mejora el comportamiento reproductivo de vacas en producción bajo esquema de rejequería.

3.8 Agradecimiento

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento de mis estudios y mi investigación.

3.9 Literatura citada

- Baruselli, P., S., Bo, G., A., Reis, E., L., Marques, M., O., & Sá, M., F. (Junio, 2005). *Introdução de IATF no manejo reproductivo de rebanhos bovinos de corte no Brasil*. Trabajo presentado en VI Simposio Internacional de Reproducción Animal de Instituto de Reproducción Animal Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Bevitori, K., Fonseca, M., P., Tilemahos, P., Z., Campos, V., & Kling, K., A. (2005). Avaliação qualitativa da Pastagem diferida de Brachiaria de cumbes Stapf sob pastejem, no periodo da seca por intermedio de três metodos de arrostragen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34 (1), 30-35.
- Borchert, K., M., Farin, C., E., & Washburn, S., P. (1999). Effect of estrus synchronization with Norgestomet on the integrity of oocytes from persistent follicles in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 77(10), 2742-2748.
- Cunningham, E., P. (1989). The genetic improvement of cattle in developing countries. *Theriogenology*; 31 (1):17-28.
- Fick, K. R., McDowell, L. R., Miles, P. H., Wilkinson, N. S., Funk, J. D., Conrad, J. H., & Valdivia, R. (1979). *Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales*. 2a ed. Gainesville, Florida: Universidad de Florida Gainesville.
- García, E. (2004). Modificaciones del Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5a ed. México: Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Herd, D., B., & Sprott, L., R. (1986). Body condition, nutrition and reproduction of beef cows. *Agri Life Extension*. Texas Agricultural Extension Service, Texas A & M University, College Station, Texas.
- Huerta, B., M. (1997). *Nutrición de rumiantes en pastoreo*. Memorias del curso Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo. Chapingo, México.
- Kreplin, C. & Yaremicio, B. (2009). *Effects of nutrition on beef cow reproduction. Agri-facts*. Practical information for Alberta's Agriculture Industrie.
- Larson, R. L., & Kiracofe, G. H. (1995). Estrus after treatment with syncro - mate Larson, R., L., & Kiracofe, G., H. (1995). Estrus after treatment with syncromate B in ovariectomized heifers is dependent on the injected estradiol valerate. *Theriogenology*. 44 (2), 177-187.
- McDowell, L., R., & Arthington, J., D. (2005). *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4a ed. Florida, Estados Unidos de América: Universidad de Florida Gainesville.
- McDowell, L., R., Conrad, J., Ellis, G., & Loosli, J. (1984). *Minerales para Rumiantes a Pastoreo en Regiones Tropicales*. Departamento de Ciencia

- Animal. CIAT. Universidad de Florida y Agencia de los EUA para el Desarrollo Internacional. Boletín 90.
- Piccardi, M., Capitaine F., A., Balzarini, M., & Bó, G., A. (2013). Some factors affecting the number of days open in Argentinian dairy herds. *Theriogenology*, 79 (5), 760-765.
- Puls, R. (1988). Mineral Levels in Animal Health Diagnostic Data. Canada: Ed. Sherpa International.
- Salamanca, A. (2010). Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista electrónica de Veterinaria*, 11 (9), 1–10.
- SAS Institute Inc. (2011). SAS/STAT 9.3. User's Guide. Cary, N. C., USA.
- Toni, F., Vincenti, L., Ricci, A., & Schukken, Y. H. (2015). Postpartum uterine diseases and their impacts on conception and days open in dairy herds in Italy. *Theriogenology*, 84 (7), 1206-1214.
- Zanetti, M., A., Saran Netto, A., F, G., F., Salles, M., S., V., Roma Junior, L. C., & Vilela, F., G. (2010). Respostas em parâmetros sanguíneos, na produção e composição do leite, devido a inclusão de óleo de girassol, selênio orgânico e vitamina E na dieta de vacas em lactação. In Anais; empreendedorismo e progresso científicos na zootecnia brasileira de vanguarda. Salvador: SBZ/UFBA.