

18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

División de Estudios Profesionales

ESTADO NUTRICIONAL Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN
RESPUESTA AL AMAMANTAMIENTO Y EDAD AL DESTETE
EN VACAS CEBÚ TRATADAS CON PROGESTÁGENOS Y
PMSG EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

TESIS

Que para obtener el Título de

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Presenta:

Mariano Hernández Gil

Asesores:

MVZ MPA Héctor Basurto Camberos

MVZ Miguel Angel Alonso Díaz

MVZ MC Humberto Troncoso Altamirano



México, D.F.

Marzo del 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Canto al campo Mexicano y al encanto de sus misterios,
canto al sentir de quienes trabajan en él a diario,
canto al amanecer optimista y al atardecer satisfecho,
canto... con la inspiración que me da su mágica quietud
y su pureza divina.*

En mi campo florecieron la Ganadería, la Veterinaria y la Charrería.

*Por eso canto, por que ellas son mis pasiones,
porque en ellas conocí el amor y el sentir por lo nuestro,
disfrutar la esencia de mi tierra y la autenticidad de sus costumbres,
porque en el campo crecí y en el campo he de morir,
al lado de quienes me han inculcado preservarlo.*

*A la memoria de quien logró ser timón y faro de mi vida...
...Amando Gil Laguna...mi bisabuelo,
ahora sus consejos son mi guía y mantienen mi esperanza por alcanzar mi destino.*

A mi gran amor y razón de ser...Guadalupe Gil Padilla...mi madre.

A mi sabio amigo y el sentir de mi vida...Joaquín Hernández Cano...mi padre.

A mi fuerza...Joaquín, Aida y David...mis hermanos.

A mi adoración...Mayita Cano...mi abuelita.

A mi bendición...María Trinidad Padilla...mi abuela.

A mi ejemplo y arquetipo de hombre...Mariano Gil...mi abuelo.

A mi amparo...Olivia y Margarita Gil...las quiero.

*Dedico este trabajo a quienes ahora son mi historia,
con quienes comparto una tradición, por quienes estoy en este lugar,
quienes esperan cada día para disfrutar plenamente de la vida
en unión y armonía ...mi familia.*

Con ferviente cariño y emoción, su hijo:

Mariano Hernández Gil

AGRADECIMIENTOS

Alguna vez un autor escribió: "como profesor, uno desafía al alumno porque lo cree capaz de aprender; pone en tela de juicio sus premisas porque considera que tiene la enjundia necesaria para revisarlas". Mi eterno agradecimiento a mi maestro, amigo y tutor Héctor Basurto Camberos; siempre tendré presente su apoyo, afecto y esa sinigual manera de desafiar al alumno con la más natural intención de formarle confianza en sí mismo.

A mis padrinos Mayita y Luis, por el cariño y apoyo que siempre me han brindado. bendigo a Dios infinitamente por haberlos puesto en mi camino, mi amor y mi respeto por su infinita bondad.

A mis tíos David y Silvia, su ejemplo, apoyo e impulso me han guiado y dado ánimos para ser en la vida algo mas que otro hombre en la tierra.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y mi Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, porque al acogerme me heredaron su prestigio y con ello adquirí el compromiso de representarlas y dar lo mejor de mí en bien de su honra.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical y todo el personal que lo hace posible. Su hospitalidad y buena disposición en todo momento, me hicieron sentir parte de ese proyecto en pro de la formación de elementos que dedicarán su trabajo a la producción animal.

A ese "equipo" que le dio un giro a mi vida y me indicó el camino poniéndome en este sitio.....mis maestros, los académicos del CEIEGT.

En las buenas y en las malas.....a mis amigos de toda la carrera y hermanos de la camada " 94-98 " Diana G., Laura B., Raquel V., Marisol G., Araceli R., Ernesto S., Marco C., Mario C., Sinuhé B., Héctor H. y Gabriel V.; que Dios los guarde y a mí me permita seguir disfrutando de su hermandad.

La amistad verdadera es algo incondicional y se da desde el primer día sin esperar a cambio nada mas que lo mismo. A mi amigo y asesor Miguel Angel Alonso Diaz, su entusiasmo y compañerismo lo distinguen y colocan en un pedestal de mi vida.

A la Sra. Lulú Gutiérrez y la familia Basurto Gutiérrez (Jessica, Héctor y Rodrigo). Un lugar especial en mi corazón tiene esta hermosa familia. Gracias por adoptarme y hacerme sentir cerca de casa, sintiendo un calor que solo lo da el hogar y el amor familiar.

A mi asesor el Dr. Humberto Troncoso por su buena disposición y ese entusiasmo tan particular que me ofrecieron confianza para resolver mis dudas y aprender muchos secretos de la Nutrición Animal.

Al Dr. Andrés Aluja Schunemann por su interés en formar, no solo profesionalmente, si no también personalmente, a los estudiantes y cultivar en ellos la importancia de los valores que distinguen al hombre como ser humano de provecho.

Al Dr. Jorge Avila García, Presidente del H. Jurado, por las contribuciones hechas para la realización de este trabajo.

Al Dr. Alfonso Baños Crespo, Vocal del H. Jurado, su amistad y buenos consejos me llevaron por el camino indicado siempre que recurrí a su ayuda.

Al Dr. Antonio Díaz Cruz, Secretario del H. Jurado, por su amistad y total disposición para apoyarme desinteresadamente desde el inicio hasta la culminación de este trabajo.

Al matrimonio formado por los Drs. Ivette Rubio y Manuel Corro. Ejemplo de lo que es superarse día a día logrando vivir en armonía familiar. Sus aportaciones y amistad son invaluable.

Al Dr. Jorge Armando Alvarez León, Director Técnico del CEIEGT, por el apoyo brindado en la etapa final de este trabajo y hacer que mi estancia en las instalaciones del Centro fuera placentera.

A mi amigo el Dr. Fernando Livas Calderón, sus enseñanzas y disposición para ayudarme en todo, siempre las tendré presentes.

A la Maestra Maria Antonieta Aguirre (Tony) por su incansable ayuda en el laboratorio para la determinación de los minerales evaluados en el presente trabajo. Su desinteresada disposición y su hermosa personalidad estarán en mi siempre.

Al Dr. René Rosiles por la ayuda prestada en el laboratorio, sus consejos, sus aportaciones, sus enseñanzas y esa simpatía que me hizo pasar momentos inolvidables en su compañía.

Al Dr. Luis Núñez Ochoa, Jefe del Departamento de Diagnóstico Clínico de la FMVZ-UNAM, por las facilidades brindadas para la determinación de los perfiles de metabolitos. Su inigualable camaradería lo distinguen como a una persona de valores morales y profesionales.

A las Químicas Arlette y Rosalba por su contribución a este trabajo en la determinación de los perfiles séricos de metabolitos.

A la Sra. Rebeca López, Jefa de la Oficina de Servicios Escolares, por esa amistad y bella personalidad siempre al servicio de los estudiantes.

A todos, absolutamente todos, mis amigos y compañeros de la Facultad especialmente de la Generación 94 - 98, por esos grandes momentos que disfrutamos y por la oportunidad que me han dado de convivir con ustedes y formar parte de sus vidas.

Con agradecimiento especial para:

El Sistema de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO) por que sin el apoyo económico brindado por medio del proyecto " EFECTO COMBINADO DE LA EDAD AL DESTETE DEL BECERRO Y SINCRONIZACIÓN DEL ESTRO SOBRE EL ANESTRO POSPARTO Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN VACAS BRAHMAN EN AMAMANTAMIENTO RESTRINGIDO EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO" (Clave: 97-01-015-V); no hubiera sido posible la realización de esta Tesis.

El Programa de Becas para Tesis de Licenciatura (PROBETEL) de la Secretaría General de la Universidad Nacional Autónoma de México; por el apoyo económico parcial prestado a través de la Secretaría de Superación e Intercambio Académico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCION	3
III. HIPOTESIS	6
IV. OBJETIVOS	7
V. MATERIAL Y METODOS	8
5.1. Localización	8
5.2. Características del Experimento	8
5.2.1. Animales Experimentales.....	8
5.2.2. Diseño Experimental.....	9
5.2.3. Manejo Reproductivo.....	11
5.2.4. Eficiencia Reproductiva.....	12
5.2.5. Estado Nutricional.....	13
5.2.5.1. Condición Corporal y Peso Vivo.....	13
5.2.5.2. Perfil Sérico de Metabolitos y Minerales.....	13
5.2.6. Determinación del Perfil Sérico de Metabolitos y Minerales.....	14
5.2.7. Análisis Estadístico.....	15
VI. RESULTADOS	17
6.1. Reproducción	17
6.2. Condición Corporal y Peso Vivo	19
6.3. Metabolitos y Minerales	20
6.3.1. Glucosa.....	20
6.3.2. Colesterol.....	22
6.3.3. Nitrógeno Uréico.....	23
6.3.4. Calcio.....	24
6.3.5. Fósforo.....	25
6.3.6. Magnesio.....	26

6.3.7. Hierro.....	26
6.3.8. Zinc.....	27
6.3.9. Manganeseo.....	28
6.3.10. Cobre.....	28
6.3.11. Selenio.....	29
6.3.12. Cobalto.....	29
VII. DISCUSION.....	30
7.1. Reproducción.....	30
7.1.1. Intervalo Parto - Estro.....	30
7.1.2. Respuesta al Tratamiento Hormonal.....	31
7.1.3. Fertilidad a Inseminación Artificial.....	32
7.1.4. Tasa de Concepción e Intervalo Parto - Concepción.....	35
7.1.5. Anestro.....	36
7.2. Condición Corporal y Peso Vivo.....	38
7.3. Metabolitos y Minerales.....	45
7.3.1. Glucosa.....	45
7.3.2. Colesterol.....	54
7.3.3. Nitrógeno Uréico.....	59
7.3.4. Calcio.....	63
7.3.5. Fósforo.....	65
7.3.6. Magnesio.....	66
7.3.7. Hierro.....	68
7.3.8. Zinc.....	70
7.3.9. Manganeseo.....	72
7.3.10. Cobre.....	73
7.3.11. Selenio.....	76
7.3.12. Cobalto.....	76
VIII. LITERATURA CITADA.....	78
IX. CUADROS.....	93
X. FIGURAS.....	99

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Efecto del tipo de amamantamiento, edad al destete y tratamiento hormonal sobre el porcentaje de fertilidad a inseminación artificial (IA) y monta natural (MN) en vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	93
2	Efecto del tipo de amamantamiento, edad al destete y tratamiento hormonal sobre el intervalo parto - estro (IPE), intervalo tratamiento inicio del estro (ITIE) y los días abiertos (DA) en vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	93
3	Medias mínimo cuadráticas (\pm DE) de los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	94
4	Medias mínimo cuadráticas (\pm DE) de los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días, sincronizadas con progestágenos y PMSG, en empadre estacional, pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	95
5	Efecto del tiempo postparto (días) sobre la condición corporal y los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman sincronizadas durante el postparto en el Trópico Húmedo de México.....	96
6	Coefficientes de correlación significativos entre metabolitos y minerales séricos, por tipo de lactancia y en general, de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	97
7	Coefficientes de correlación significativos de parámetros reproductivos con la CC, metabolitos y minerales durante el postparto de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	98
8	Coefficientes de correlación significativos entre minerales séricos, por tipo de lactancia y en general, durante el postparto de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	98

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Porcentaje acumulado de estros en Respuesta al Tratamiento Hormonal, de acuerdo con el Tipo de Amamantamiento y Edad al Destete de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	99
2	Porcentaje de Anestro Postservicio (APS), Anestro Durante Todo el Empadre (ATE) y Estro Total (E) de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días; sincronizadas con progestágenos y PMSG pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	99
3	Cambios en la Condición Corporal durante el periodo postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México	100
4	Cambios en el Peso Corporal durante el periodo postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	100
5	Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	101
6	Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 60 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	101
7	Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	102
8	Niveles séricos de Glucosa durante el periodo postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	102
9	Niveles séricos de Colesterol durante el periodo postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	103

10	Correlación Peso x Colesterol en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	103
11	Niveles séricos de Nitrógeno Uréico durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	104
12	Niveles séricos de Calcio durante el periodo postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	104
13	Niveles séricos de Fósforo durante el periodo postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	105
14	Niveles séricos de Magnesio durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	105
15	Niveles séricos de Hierro durante el periodo postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México	106
16	Niveles séricos de Zinc durante el periodo postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	106
17	Niveles séricos de Manganeso durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	107
18	Correlación Peso x Manganeso en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	107
19	Correlación Peso x Manganeso en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 60 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	108
20	Niveles séricos de Cobre durante el periodo postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	108

21	Niveles séricos de Calcio en respuesta al Tratamiento Hormonal utilizado durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	109
22	Correlación Glucosa x Magnesio durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	109
23	Niveles séricos de Zinc en respuesta al Tratamiento Hormonal utilizado durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.....	110

I. RESUMEN

Mariano Hernández Gil: ESTADO NUTRICIONAL Y EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN RESPUESTA AL AMAMANTAMIENTO Y EDAD AL DESTETE EN VACAS CEBU TRATADAS CON PROGESTAGENOS Y PMSG EN EL TROPICO HUMEDO (Bajo la asesoría de: MVZ MPA Héctor Basurto Camberos, MVZ Miguel Angel Alonso Díaz y MVZ MC Humberto Troncoso Altamirano)

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del tipo de lactancia (TL) y tratamiento hormonal (TH) sobre la eficiencia reproductiva (días abiertos y tasa de preñez) y estado nutricional (condición corporal (CC); peso vivo (PV); metabolitos y minerales). Se utilizaron 120 vacas Brahman multiparas, distribuidas aleatoriamente en tres grupos de 40 animales cada uno. Grupo A: amamantamiento continuo con destete a 180 días; Grupo B: amamantamiento restringido a una hora/día del octavo día postparto al destete a 60 días; Grupo C: amamantamiento restringido a una hora/día del octavo día postparto al destete a 180 días. A los 51 días postparto cada grupo se dividió en dos subgrupos (1 y 2): A1, B1 y C1 recibieron norgestomet + valerato de estradiol+PMSG; A2, B2 y C2 solo PMSG. Se determinó el intervalo parto-estro (IPE), parto-concepción (IPC); fertilidad total (FT); tasa de anestro al final del empadre (AFE). Durante el postparto hasta finalizar el empadre se midió el PV, CC, y el perfil sérico de glucosa (Glc), colesterol (Col), nitrógeno uréico (NUS), Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Se y Co. Se utilizó el análisis de varianza para un modelo completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2, aceptando una significancia $P < 0.05$ en las medias de cuadrados mínimos y la prueba de Ji-cuadrada para las variables dependientes discretas. Se calcularon las correlaciones de Pearson entre las variables

II. INTRODUCCIÓN

En la ganadería tropical, la inactividad ovárica después del parto es el principal obstáculo para mejorar la eficiencia reproductiva^{1,2,3}. Los intervalos postparto al servicio y a la concepción son superiores a los 120 y 170 días, respectivamente; en consecuencia, el intervalo entre partos alcanza los 500 días, situación que puede originarse por deficiencias alimenticias e influencias negativas del amamantamiento^{4,5,6,7,8,9}.

Existe una estrecha relación del estado nutricional con la actividad reproductiva. El gasto energético exigido por la lactación, además del reajuste en la función ruminal^{10,11}, interfieren con otros eventos fisiológicos, como la involución uterina y el restablecimiento de los ciclos estrales postparto. El aporte alimenticio de las praderas tropicales no satisface los requerimientos de la vaca en pastoreo durante el postparto, teniendo que usar sus reservas corporales para subsanar las deficiencias de la dieta (energía, proteínas y minerales)¹².

En el ganado, el estado general de carnes y la grasa subcutánea (si se consideran como reserva de energía) se han usado para estimar la condición corporal; demostrándose que, aún cuando es una medición subjetiva, mantiene una fuerte correlación con el peso vivo y la eficiencia reproductiva^{2,13,14}; de ahí su utilidad práctica. Sin embargo, la determinación de un perfil metabólico ayudaría a conocer el *status* de otros microelementos en forma cuantitativa en momentos fisiológicos específicos del ciclo reproductivo¹⁴.

Situaciones de pérdida energética, bajos consumos de proteína^{11,15} y valores sanguíneos de colesterol, como principal precursor de las hormonas esteroides^{16,17}, fuera de los rangos normales^{15,18,19}, se han asociado con: estro silencioso, anestro, ciclos irregulares, ovulación retardada, quistes foliculares y baja fertilidad; también, las concentraciones reducidas de

glucosa en la sangre con anestro nutricional^{15,20} y, nivel bajo de glucosa sérica y proteínas totales con baja fertilidad^{18,20,21,22}. La aplicación de un inhibidor metabólico de la glucosa, 2-deoxy-D-glucosa, ocasionó disminución de estros y ovulaciones²³.

No obstante, aún faltan evidencias sobre el papel que juegan algunos metabolitos sanguíneos del catabolismo proteínico, balance energético y lípidos, durante el postparto de vacas cebú en pastoreo en el trópico, que expliquen la ocurrencia y longitud del anestro postparto.

Por otro lado, en los forrajes tropicales de América Latina se han encontrado deficiencias de minerales como: Co, Cu, Mg, P, Na, Zn, K, Fe, Se y Mn²⁴. Las características de los suelos tropicales, contenido de aluminio y pH; madurez de la planta y época del año, afectan la absorción de minerales por las plantas^{12,25}, ocasionando desbalances o alteraciones metabólicas en los bovinos en pastoreo, que repercuten en el proceso reproductivo. Abortos no infecciosos, distocias, retención placentaria, ciclos irregulares, quistes ováricos e infertilidad, son signos que sugieren deficiencias minerales y fallas simples o combinadas con los elementos traza^{25,26}.

Otros factores como la presencia del becerro y frecuencia y longitud del amamantamiento, como método de crianza, ocasionan demora en la manifestación del estro postparto²⁷. El amamantamiento está relacionado con la liberación de un opioide peptídico del encéfalo, la β -endorfina, que inhibe la secreción cíclica de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), modificando la frecuencia en la liberación pulsátil de hormona luteinizante (LH) y en consecuencia la atresia folicular²⁸. Este efecto también se ha demostrado en ganado de carne subalimentado, restableciéndose la secreción de LH después de la infusión de glucosa¹⁹. Asimismo, se ha logrado la reducción del período

abierto e incremento en la manifestación del estro en las vacas cuando se les restringe el amamantamiento o se disminuye el tiempo al destete^{28,29}.

La búsqueda de alternativas para reducir el período abierto y el establecimiento de la temporada de empadre para bovinos en pastoreo en las zonas tropicales de México, no puede basarse en prácticas aisladas, como se ha visto hasta ahora; si no más bien, apunta hacia la integración de las actividades involucradas en el proceso productivo, combinando el control de la lactancia: amamantamiento restringido, destetes temporales y definitivos; con mejoras en la alimentación, basadas en la evaluación del balance nutricional, y la estimulación hormonal exógena para la inducción y sincronización del estro.

Por tanto, a pesar de que se cuenta con información valiosa sobre la eficiencia reproductiva de los bovinos en condiciones tropicales e información agronómica de una gran variedad de forrajes, aún persiste la necesidad imperiosa de llevar a cabo trabajos de investigación, donde se estudien, de forma integral, los factores que inciden adversamente sobre la eficiencia reproductiva del ganado Cebú, así como, desde ese punto de vista integral, valorar algunas alternativas para su mejoría; tales como: el control del amamantamiento y la estimulación hormonal, considerando el estado nutricional y alimentación con relación a la actividad reproductiva postparto en condiciones de pastoreo.

III. HIPÓTESIS

Las vacas en amamantamiento restringido con destete a sesenta días mantendrán mayor peso vivo y condición corporal, cuyo perfil metabólico y mineral estará dentro de rangos normales, por lo que tendrán mayor eficiencia reproductiva en comparación con las que destetan hasta 180 días o las de amamantamiento continuo.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Encontrar la mejor combinación entre manejo del amamantamiento, alimentación y tratamiento hormonal; determinando la relación entre el estado nutricional y la eficiencia reproductiva en vacas Cebú durante el período abierto, en amamantamiento continuo y amamantamiento restringido con destetes a 60 y 180 días, tratadas con norgestomet, estradiol y PMSG en el trópico húmedo.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la relación entre condición corporal y peso vivo, con los niveles séricos de glucosa, colesterol, nitrógeno uréico, Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Se y Co.
- Evaluar la eficiencia reproductiva de las vacas a través de la estimación de la actividad ovárica pre y postratamiento y determinación de los parámetros reproductivos.
- Establecer la eficiencia reproductiva en cada grupo (A, B y C) y subgrupo (1 y 2) y determinar su relación con algunos indicadores del estado nutricional (condición corporal, peso vivo y componentes séricos).

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Localización

El presente trabajo se realizó en el Módulo de Producción de Vaquillas F1 “La Soledad” del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical, dependiente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se localiza en el Km 3.5 del camino vecinal Martínez de la Torre – Novara, municipio de Atzalan, Veracruz; situado a 19° 50' latitud norte y 97° 1' longitud oeste con una altitud media de 150 msnm. El clima de la zona es cálido húmedo Af(m)(e), con una temperatura promedio anual de 23.4° C y una precipitación pluvial de 1743 mm/año³⁰. El predio consta de 114 Ha, de las que se destinan a pastoreo 105 Ha divididas en 39 potreros de 2.7 Ha promedio cada uno, manteniendo una carga promedio anual de 2.3 UA/Ha.

5.2. Características del Experimento.

El experimento se realizó de Marzo de 1998 a Marzo de 1999; dividiéndose en una etapa de campo que abarcó de Marzo a Octubre de 1998 y otra de laboratorio comprendida de Noviembre de 1998 a Marzo de 1999.

5.2.1. Animales Experimentales

Se utilizaron 120 vacas cebú Brahman multiparas cuyo parto ocurrió entre Marzo y Abril de 1998, con 470 kg de peso vivo promedio y libres de Tuberculosis y Brucelosis. Todas las vacas se manejaron como un solo hato bajo un esquema de pastoreo intensivo en praderas compuestas en un 80% por grama nativa (*Paspalum spp* y *Axonopus spp*) y un 20% por pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*). A cada potrero se le dio un día

de ocupación y un periodo de recuperación que varió de 25 días en verano a 60 días en las épocas de invierno y sequía. A los animales se les ofrecía un complemento mineral (Ca 13 %, Cl 20 %, P 5 %, Na 10.9 %, Fe 0.43 %, Mg 0.33 %, Mn 200 ppm, Cu 8 ppm, Co 66 ppm, I 4 ppm % y Zn 80 ppm), agua y sombra *ad libitum*.

5.2.2. Diseño Experimental

Se utilizó un modelo completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 2 con tres tipos de lactancia (Grupos A, B y C) y dos tratamientos hormonales (Subgrupos 1 y 2) con 10 repeticiones por combinación^{34,35}.

Todas las vacas tuvieron a su cría en amamantamiento continuo durante la primera semana postparto. Al cumplir ocho días postparto se asignaron al azar a tres grupos de 40 animales cada uno, quedando distribuidas de la siguiente manera:

- Grupo A (n= 40): vacas en amamantamiento continuo (AC) que destetaron a sus crías a los 180 días postparto (ACDTT180).
- Grupo B (n= 40): vacas en amamantamiento restringido (AR) a una hora por día (7:00 - 8:00 h) y que destetaron a sus crías a los 60 días postparto (ARDTT60).
- Grupo C (n= 40): vacas en amamantamiento restringido a una hora por día (7:00 - 8:00 h) y que destetaron a sus crías a los 180 días postparto (ARDTT180).

Las crías del Grupo A permanecieron con sus madres todo el tiempo en amamantamiento *ad libitum* hasta la edad del destete a los 180 días; en estas crías no se utilizó ningún complemento alimenticio. Las crías de los grupos B y C, después del amamantamiento

restringido de una hora por día, se mantuvieron en pastoreo separadas de sus madres y se les suministró complemento concentrado (18 % PC), desde el octavo día de vida hasta la edad de 180 días, a razón del 1.2 % del peso vivo. En los tres grupos se obtuvo el peso de los becerros del nacimiento a los 180 días de edad.

El día 51 postparto, cada grupo de vacas se subdividió al azar en dos subgrupos de 20 animales cada uno. A los subgrupos 1 (A1, B1 y C1) se les aplicó 3 mg de norgestomet y 5 mg de valerato de estradiol vía intramuscular (i.m.) y un implante con 3 mg de norgestomet, vía subcutánea en el pabellón auricular durante nueve días, que se retiró el día 60 postparto; a este tiempo, se les aplicó 250 U.I. de gonadotropina sérica de yegua preñada (PMSG) i.m.. Las vacas de los subgrupos 2 (A2, B2 y C2) únicamente se les aplicó 250 U.I. de PMSG i.m. el día 60 postparto. El diseño experimental se resume de la manera siguiente:

- Subgrupo A1 (n= 20): Vacas en ACDTT180, tratadas con norgestomet + valerato de estradiol + PMSG.
- Subgrupo A2 (n= 20): Vacas en ACDTT180, tratadas con PMSG.
- Subgrupo B1 (n= 20): Vacas en ARDTT60, tratadas con norgestomet + valerato de estradiol + PMSG.
- Subgrupo B2 (n= 20): Vacas en ARDTT60, tratadas con PMSG.
- Subgrupo C1 (n= 20): Vacas en ARDTT180, tratadas con norgestomet + valerato de estradiol + PMSG.
- Subgrupo C2 (n= 20): Vacas en ARDTT180, tratadas con PMSG.

5.2.4. Eficiencia Reproductiva

Para cada grupo y subgrupo se determinaron los parámetros reproductivos siguientes:

- *Intervalo parto-estro (IPE)*: Los días en que la vaca presentó el primer ciclo postparto con signos de estro evidentes.
- *Intervalo parto-concepción (IPC)*: El periodo en días comprendido entre el parto y el servicio en que quedó gestante; lo cual fue corroborado por el no retorno al estro en los 24 días siguientes y por el diagnóstico de gestación a 45 días postservicio.
- *Intervalo tratamiento hormonal-inicio del estro (ITIE)*: se registró en horas el tiempo que tardó la vaca en presentar signos de estro después de aplicada la PMSG.
- *Porcentaje de estros a 36, 48, 72 y 96 h postratamiento*: correspondieron los porcentajes de estro acumulados a cada tiempo.
- *Tasa de fertilidad con inseminación artificial (FIA)*: número de vacas servidas con IA entre el número de vacas gestantes con servicio de IA multiplicado por cien.
- *Tasa de fertilidad con monta natural (FMN)*: número de vacas servidas con MN entre el número de vacas gestantes con MN multiplicado por cien.
- *Tasa de fertilidad total (FT)*: número total de vacas servidas (IA + MN) entre el número total de vacas gestantes multiplicado por cien.
- *Porcentaje de anestro postservicio (APS)*: porcentaje de vacas que presentaron estro y fueron servidas, pero que resultaron en anestro a diagnóstico 45 días después y que así permanecieron durante todo el empadre.

- *Anestro durante todo el empadre (ATE)*: porcentaje de vacas que no presentaron estro ni fueron servidas durante todo el empadre.
- *Anestro total al final del empadre (AFE)*: la suma de APS + ATE.

5.2.5. Estado Nutricional

Para evaluar el estado nutricional de las vacas en el presente estudio se estimó la condición corporal y se obtuvo el peso vivo, así como también, se determinaron los perfiles séricos de metabolitos (glucosa, colesterol y nitrógeno uréico) y minerales (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Se, Co).

5.2.5.1. Condición Corporal (CC) y Peso Vivo (PV)

Desde el parto y hasta finalizar el empadre, se calificó la CC quincenalmente de acuerdo con la técnica descrita por Edmonson ³¹, y el PV mensualmente con una báscula electrónica portátil, marca True-Test modelo 702.

5.2.5.2. Perfiles Séricos de Metabolitos y Minerales

A partir del día 34 postparto y hasta finalizar el empadre se designaron al azar 10 vacas de cada subgrupo, para obtener una muestra de sangre cada quince días. De esta forma se completaron un total de 10 muestreos que correspondieron a 34, 50, 64, 78, 92, 113, 127, 141, 155 y 169 días postparto.

La muestra de sangre se obtuvo por la mañana (9:00 - 12:00 h), de la vena coccígea con agujas y tubos Vacutainer (10 ml) sin anticoagulante. Las muestras se mantuvieron en refrigeración para ser transportadas al laboratorio en un lapso no mayor a tres horas, donde se centrifugaron a 2500 revoluciones por minuto durante 10 minutos. El suero de cada

muestra se almacenó en congelación ($- 5^{\circ} \text{C}$)³² en tubos sellados hasta la determinación de los perfiles de metabolitos y minerales.

5.2.6. Determinación de perfil sérico de metabolitos y minerales

La determinación de los niveles séricos de glucosa, colesterol y nitrógeno uréico se llevó a cabo en el laboratorio del Departamento de Diagnóstico Clínico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

La determinación del perfil sérico de minerales se realizó en el laboratorio del Departamento de Nutrición de la misma Institución. Los perfiles de calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y cobalto (Co) se determinaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica de flama Perkin-Elmer.

Debido a la cantidad de suero requerida para la determinación del fósforo (P) inorgánico, éste solo se determinó en 4 vacas de cada subgrupo utilizando un espectrofotómetro de luz ultravioleta y visible Colmen-Hitachi por la técnica descrita por Fiske y Subbarow³³.

Los niveles séricos de Cu y Mn se determinaron por la técnica del horno de grafito, en 3 vacas de cada subgrupo.

En las mismas vacas que para el Cu y Mn se determinaron los niveles séricos de Se por la técnica de generación de hidruros.

5.2.7. Análisis Estadístico

Para la concentración de metabolitos (glucosa, colesterol y nitrógeno uréico), minerales (Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Se y Co), PV y CC; el análisis de varianza para los tratamientos se realizó con el procedimiento GLM de SAS ³⁶, considerando las variables en forma conjunta con el modelo siguiente ^{34, 37}:

$$Y_{ijkl} = \mu + D_i + H_j + T_k + DH_{ij} + Cl + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = es el vector de variables dependientes (metabolitos, minerales, CC y PV)

μ = la media general

D_i = el efecto del tipo de lactancia (1, 2, 3)

H_j = el efecto del tratamiento hormonal (1, 2)

T_k = el tiempo postparto

DH_{ij} = la interacción del tipo de lactancia con el tratamiento hormonal

Cl = Condición Corporal (Covariable)

E_{ijkl} = error aleatorio, supuesto normalmente distribuido, independiente, con $\mu=0$ y $\sigma=1$.

Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo en el modelo general ($P<0.05$), se utilizaron las medias de mínimos cuadrados a un nivel de $P<0.05$ para definir diferencias entre tratamientos.

Se calcularon las correlaciones de Pearson entre las variables dependientes continuas, para el modelo general y para cada tipo de lactancia (A, B y C).

Para evaluar las diferencias entre tratamientos respecto a las variables dependientes discretas se usó la prueba de Ji-cuadrada ^{34, 35}.

Para el análisis de los resultados, se utilizaron los programas estadísticos: Statistics Analysis System (SAS) versión 6.03 ³⁶ y SPSS for Windows Release 6.1.3 ³⁸, para computadoras IBM-PC.

VI. - RESULTADOS

6.1. Reproducción

En el Cuadro 1, se presenta el efecto del tipo de amamantamiento, edad al destete y tratamiento hormonal sobre los porcentajes de fertilidad a inseminación artificial (FIA) y monta natural (FMN) y la tasa de preñez total (FT). La FIA fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el subgrupo C2 (70%), respecto a los demás subgrupos. Por el contrario el subgrupo A2 tuvo la menor FIA (26.3 %). Las diferencias en la FIA entre los subgrupos A1, B1, B2 y C1 no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

La FMN fue mayor para el subgrupo B2 (47%) la cual difirió ($P < 0.05$) de los demás subgrupos; mientras que los subgrupos A1 y C2 tuvieron significativamente ($P < 0.05$) la menor FMN (10%). Las diferencias en la FMN entre los subgrupos A2, B1 y C1 no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$), (Cuadro 1).

En función del tipo de lactancia (TL) y edad al destete (DTT), independientemente del tratamiento hormonal aplicado (TH), la FT fue significativamente menor ($P < 0.01$) en el Grupo A (56.2%), en comparación con los Grupos C (77.5%) y B (89.2%), entre los cuales la diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$).

Al considerar el efecto del tratamiento hormonal, el subgrupo B2 tuvo la mayor FT (89.5%), seguido de los subgrupos B1 y C2 (88.9 y 80%, respectivamente), entre los cuales la diferencia no fue significativa ($P > 0.05$); sin embargo, el subgrupo A2 obtuvo significativamente ($P < 0.05$) la menor FT (47.4%).

Los promedios de cuadrados mínimos del IPE, ITIE e IPC para cada subgrupo se presentan en el Cuadro 2. No hubo efecto del tratamiento sobre el IPE e IPC ($P > 0.05$). Se

observó que el ITIE fue significativamente ($P < 0.05$) menor en el subgrupo B1 (42 h), en comparación con los subgrupos B2 (60 h) y C2 (60 h).

En la Figura 1, se esquematiza el porcentaje de estros acumulados a 36, 48, 72 y 96 horas posteriores al tratamiento hormonal. El mayor porcentaje de estros acumulados a 36 y 48 h correspondió a los subgrupos A1, B1 y C1, siendo las diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) respecto a los subgrupos A2, B2 y C2. No obstante, para las 72 h, el subgrupo B2 acumuló el 77.8% siendo similar a los subgrupos A1, B1, y C1 ($P > 0.05$), pero conservando la diferencia significativa ($P < 0.01$) frente a los subgrupos A2 y C2 (36.9 y 35.0%, respectivamente). A las 96 h el subgrupo C1 acumuló el 90 % de estros, seguido de los subgrupos A1, B1 y B2 con 70.0, 77.8 y 78.6 %, respectivamente; sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$). Los subgrupos A2 y C2 acumularon el menor porcentaje de estros a la 96 h postratamiento (47.1 y 44.4% respectivamente), siendo las diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), respecto a los demás subgrupos.

El efecto del tipo de lactancia, edad al destete y tratamiento hormonal sobre el anestro postservicio (APS) y anestro durante todo el empadre (ATE) se presenta en la Figura 2. La menor tasa de APS fue para los subgrupos B1 y B2 (11.1% y 0.0%, respectivamente); los cuales difirieron estadísticamente ($P < 0.05$) de los demás subgrupos; la mayor tasa de APS y ATE fue para el subgrupo A2, siendo estadísticamente diferente ($P < 0.05$) de los demás subgrupos.

Los subgrupos A1 y A2 presentaron la mayor tasa de anestro al final del empadre (AFE), 25% y 50%, respectivamente, siendo las diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) respecto a los demás subgrupos.

En el Cuadro 6 se presentan los coeficientes de correlación que resultaron significativos entre la CC y algunos parámetros reproductivos. El IPE e IPC, tuvieron una correlación *negativa altamente significativa* ($P < 0.01$) con la CC. Por el contrario la correlación fue *positiva altamente significativa* ($P < 0.01$) entre el ITIE y la CC.

El PV y la CC mostraron correlación positiva no significativa ($P > 0.05$) en el modelo general; sin embargo, cuando se analizó por tipo de lactancia, la correlación fue positiva altamente significativa ($r = 0.2783$; $P < 0.01$) en el Grupo A, positiva significativa ($r = 0.2783$; $P < 0.05$) para el Grupo B, y positiva no significativa ($r = 0.1841$; $P > 0.05$) para el Grupo C. En las Figuras 5, 6 y 7, para los Grupos A, B y C, respectivamente, se presentan esquemáticamente.

6.3. Metabolitos y Minerales

6.3.1. Glucosa (Glc)

En el Cuadro 3, se presenta el promedio general (\pm D.E.) de Glc y su comparación con el rango considerado normal en la literatura^{32, 39, 40, 41, 42}, no hubo efecto estadísticamente significativo ($P > 0.05$) del TL ni del TH sobre el nivel sérico de Glc. Sin embargo, la interacción TL*TH tuvo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$) sobre esta variable (Cuadro 4). En el subgrupo A1 se encontró la menor concentración de Glc en el suero (33.9 ± 1.22 mg/dl), seguido, en orden ascendente, por los subgrupos B2 (34.9 ± 1.4 mg/dl) y C2 (37.6 ± 1.3 mg/dl), que fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) a los subgrupos A2, B1 y C1 con 38.4 ± 1.4 mg/dl, 38.1 ± 1.3 , 39.3 ± 1.3 , respectivamente.

Hubo una correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) entre el tiempo postparto y el perfil de Glc y los promedios generales de Glc sérica a diferente tiempo postparto se muestran en el Cuadro 5. El nivel mínimo fue el día 34 postparto (21.2 ± 3.73 mg/dl) y el máximo el día 141 postparto (48.0 ± 1.49 mg/dl). La Figura 8 muestra la variación de los niveles séricos de glucosa por grupo durante el experimento y el rango normal reportado en la literatura^{32, 39, 40, 41, 42} para los bovinos.

Los coeficientes de correlación significativos entre la Glc y demás variables, para el modelo general y por TL se presentan en el Cuadro 6. Hubo correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) entre la Glc y el colesterol (Col) en el Grupo A. De igual forma, la Glc con el nitrógeno uréico, mostró correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) en los Grupos A y B.

La Glc y el Mg tuvieron correlación negativa en los Grupos A, B y C; siendo significativa en A ($P < 0.05$) y altamente significativa en B y C ($P < 0.01$). Asimismo, la Glc tuvo una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) con el Zn, Fe y el Mn. El Fe solamente mostró correlación negativa ($P < 0.01$) en el Grupo B; y el Mn en los Grupos A y B. Hubo una correlación positiva ($P < 0.01$) de la Glc con el Cu en el Grupo A y con la CC en el Grupo B (Cuadro 6).

En el Cuadro 7, se presentan los coeficientes de correlación de la Glc con parámetros reproductivos. El IPC tuvo correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) y el IPE negativa significativa ($P < 0.05$) con la Glc.

6.3.2. *Colesterol (Col)*

El cuadro 3 presenta los promedios (\pm D.E.) general y por tipo de lactancia del perfil sérico de Col, así como el rango reportado como normal por distintos autores^{32, 40, 41, 42}. El TL tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre el Col; el mayor nivel correspondió a los Grupos A (181.9 ± 4.51) y B (170.8 ± 4.59 mg/dl), cuya diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$); el menor nivel fue para el Grupo C (161 ± 44.2 mg/dl) cuya diferencia fue significativa ($P < 0.05$) solo con el Grupo A. En la Figura 9 se representa la variación de los niveles séricos de Col durante el postparto para cada tipo de lactancia y su comparación con el rango normal para bovinos reportado en la literatura^{32, 40, 41, 42}.

No hubo efecto ($P > 0.05$) del TH sobre el Col; sin embargo, hubo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre el perfil sérico de Col debido a la interacción TL*TH (Cuadro 4). El mayor nivel de Col correspondió al subgrupo A1 (193 ± 55.2 mg/dl), siendo diferente ($P < 0.05$) de los demás subgrupos.

El análisis de correlación entre el Col y el tiempo postparto (Cuadro 5) mostró una asociación positiva altamente significativa ($P < 0.01$). El mayor promedio correspondió al día 34 postparto (208 ± 8.1 mg/dl) y el menor el día 64 (141 ± 6.4 mg/dl), ($P < 0.01$).

Los coeficientes de correlación significativos entre el Col y las demás variables se presentan en el Cuadro 6. Dentro del modelo general hubo correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) con el nitrógeno uréico (NUS) y el Zn y significativa ($P < 0.05$) con Mg. El Col tuvo una correlación positiva significativa ($P < 0.05$) con el Ca, Mg y Cu en el Grupo A, y con el NUS y P en el Grupo B; sin embargo, la correlación entre el NUS y el Col fue altamente significativa ($P < 0.01$) en los Grupos A y C, así como también con el Zn en el Grupo B. También el Col tuvo correlación negativa significativa ($P < 0.05$) con la CC.

En la Figura 10 se esquematiza la correlación negativa altamente significativa ($r = -0.3567$, $P < 0.01$) entre el Col y el PV en el Grupo A.

El Col mostró correlación positiva significativa ($P < 0.05$) con el IPE y negativa significativa ($P < 0.05$) con el ITIE (Cuadro 7).

6.3.3. Nitrógeno Uréico (NUS)

En el Cuadro 3, se muestra el promedio general (\pm DE) de NUS (11.4 ± 3.5 mg/dl) y su comparación con el rango reportado como normal en la literatura^{32, 41, 42}. Hubo efecto estadísticamente significativo ($P < 0.05$) del TL sobre el nivel de NUS; El NUS fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el Grupo A (11.9 ± 0.23 mg/dl) en comparación con los grupos B y C (10.9 ± 0.23 mg/dl y 11.2 ± 0.22 mg/dl, respectivamente). En la Figura 11 se esquematiza la variación en los niveles séricos de NUS durante el periodo postparto en cada uno de los Grupos de lactancia y su comparación con el rango normal reportado en la literatura^{32, 41, 42}.

El TH no tuvo efecto estadísticamente significativo ($P > 0.05$) sobre el NUS. No obstante, la interacción TL*TH tuvo efecto altamente significativo ($P < 0.01$) sobre el NUS; el subgrupo A1 tuvo significativamente ($P < 0.01$) el mayor nivel de NUS (12.7 ± 2.8 mg/dl) en comparación con los demás subgrupos (Cuadro 4).

En el Cuadro 5 se presenta la correlación positiva estadísticamente significativa ($P < 0.01$) entre el tiempo postparto y los niveles correspondientes de NUS. El valor mínimo (6.6 ± 0.4 mg/dl) correspondió al día 78 postparto y el máximo (14.5 ± 0.35 mg/dl) al día 141 ($P < 0.05$).

Los coeficientes de correlación significativos de NUS con otras variables se muestran en el Cuadro 6. El P mostró una correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) con el

NUS en el Grupo B. Por el contrario, la correlación fue negativa con el Mg ($P < 0.05$) en el grupo A. De igual manera, la correlación fue negativa con el Fe ($P < 0.05$) en los grupos A y B. Con el Mn la correlación fue negativa altamente significativa ($P < 0.01$) solo en el modelo general. El Cu y el NUS en el Grupo A tuvieron correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$), al igual que la CC en los Grupos B ($P < 0.01$) y C ($P < 0.05$) y no significativa ($P > 0.05$) en A.

6.3.4. Calcio (Ca)

En el cuadro 3, se muestra el promedio general (\pm DE) de Ca (94 ± 8.5 ppm) obtenido en el presente trabajo y el rango normal para bovinos reportado en la literatura^{39, 40, 41, 43, 44}.

No hubo efecto estadísticamente significativo ($P > 0.05$) del TL sobre el perfil sérico de Ca. Por el contrario el TH sí afectó ($P > 0.05$) esta variable, resultando significativamente ($P < 0.05$) mayor la concentración de Ca en las vacas de los subgrupos 1 (94.4 ± 0.57), que los subgrupos 2 (92.8 ± 0.62). La interacción TL*TH no tuvo efecto significativo ($P > 0.05$) sobre el nivel sérico de Ca (Cuadro 4).

En la Figura 12 se esquematizan los perfiles de Ca en el suero de las vacas de cada grupo durante el periodo postparto; así como la comparación con el rango normal^{39, 40, 41, 43, 44}.

En el Cuadro 5 se muestra la correlación entre el Ca y el tiempo postparto, la cual fue negativa no significativa ($P > 0.05$). El mayor nivel de Ca correspondió al día 127 postparto (98.5 ± 1.27 ppm) y el menor al día 141 postparto (91.3 ± 1.22 ppm); sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$).

En el Cuadro 8, se muestran los coeficientes de correlación significativos entre minerales para cada Grupo. El Ca y el Mg tuvieron correlación positiva altamente significativa dentro del modelo general ($P < 0.01$) y significativa ($P < 0.05$) en el Grupo C. Entre Ca y Zn la correlación fue positiva altamente significativa ($P < 0.01$) dentro del modelo general y significativa ($P < 0.05$) en el Grupo A.

El perfil sérico de Ca tuvo una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) con el IPE (Cuadro 7).

6.3.5. Fósforo (P)

El promedio general (\pm DE) de P en el presente trabajo fue de 42.6 ± 13.63 ppm (Cuadro 3). No hubo efecto ($P > 0.05$) del tipo de lactancia sobre los niveles séricos de P. Tampoco el TH, ni la interacción TL*TH, tuvieron efecto significativo ($P < 0.05$) sobre los niveles séricos de P. En la Figura 13 se representa la variación de los niveles séricos de fósforo a través del tiempo postparto; asimismo, se muestra el rango normal para bovinos reportado en la literatura^{39, 40, 41, 43, 44}.

El análisis de correlación entre el tiempo postparto y el nivel de P (Cuadro 5) mostró una asociación negativa no significativa ($P > 0.05$); aunque se observa una tendencia a un máximo valor para el día 34 (54.7 ± 5.98 ppm) y un mínimo el día 78 (34.9 ± 3.68), las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$).

El P no mostró correlación significativa ($P > 0.05$) con ninguno de los minerales analizados.

6.3.6. Magnesio (Mg)

El perfil de Mg (promedio \pm DE) fue de 23.6 \pm 3.6 ppm (Cuadro 3). El tipo de lactancia (Cuadro 3), tratamiento hormonal y su interacción (Cuadro 4) no tuvieron efecto significativo ($P<0.05$) sobre los niveles séricos de Mg. La Figura 14 esquematiza los promedios para cada grupo durante el experimento y su comparación con el rango normal para bovinos reportado por diferentes autores^{39, 40, 44, 45}.

Se encontró una correlación negativa altamente significativa ($P<0.01$) del perfil sérico del Mg con los días postparto (Cuadro 5); el nivel máximo de Mg sérico fue para el día 92 postparto (26.4 \pm 0.42 ppm) y el mínimo el día 141 (20.1 \pm 0.46 ppm).

El Cuadro 6, muestra los coeficientes de correlación significativos entre minerales para cada Grupo. Hubo una correlación positiva significativa ($P<0.05$) del Mg con el Fe; negativa significativa ($P<0.05$) con el Cu y positiva altamente significativa ($P<0.01$) con el Mn en el Grupo B. Sin embargo, la correlación del Mg con el Zn solamente se observó positiva significativa ($P<0.05$) dentro del modelo general.

6.3.7. Hierro (Fe)

En el Cuadro 3, se muestra el promedio general (\pm DE) de Fe (2.6 \pm 1.48 ppm). El TL tuvo efecto significativo ($P<0.05$) sobre los niveles séricos de Fe. Por el contrario, el tratamiento hormonal no afectó ($P>0.05$) esta variable. La Figura 15 representa el promedio de los perfiles de Fe para cada Grupo de lactancia, y su referencia con el rango normal reportado en la literatura^{40, 44, 45}.

La interacción TL*TH afectó significativamente ($P<0.05$) el perfil sérico de Fe, siendo mayor en el subgrupo B2 (3.1 ± 0.2 ppm) y el menor en el subgrupo A1 (2.4 ± 0.1 ppm), (Cuadro 4).

El perfil sérico de Fe mostró una correlación negativa altamente significativa ($P<0.01$) con los días postparto. El máximo valor correspondió al día 78 postparto (4.43 ± 0.25 ppm) y el mínimo el día 169 postparto (1.95 ± 0.19 ppm), (Cuadro 5).

Los coeficientes de correlación significativos entre los minerales por tipo de lactancia se presentan en el Cuadro 8. Se observó una correlación positiva altamente significativa ($P<0.01$) entre el Fe y el Mn en el Grupo A. El Fe y el Cu mostraron una correlación negativa significativa ($P<0.05$) en los Grupos A y B. El Zn solamente mostró correlación positiva altamente significativa ($P<0.01$) con el Fe dentro del modelo general.

6.3.8. Zinc (Zn)

El promedio general (\pm D.E.) de Zn (3.2 ± 2.9 ppm) aparece en el Cuadro 3. El factor lactancia no tuvo efecto significativo ($P>0.05$) sobre el perfil sérico del Zn. Sin embargo, el tratamiento hormonal afectó significativamente ($P<0.05$) el nivel sérico de Zn; las vacas de los subgrupos A1, B1 y C1 tuvieron en promedio mayor nivel de Zn (3.8 ± 0.10 ppm) que las vacas de los subgrupos A2, B2 y C2 (3.5 ± 0.11 ppm), ($P<0.05$).

En la Figura 16 se esquematiza el promedio de los perfiles de Zinc para cada Grupo de lactancia y su comparación con el rango normal^{43, 44}. Hubo una correlación negativa altamente significativa ($P<0.01$) entre el tiempo postparto y el perfil sérico de zinc (Cuadro 5); el mayor porcentaje correspondió al día 34 (12.6 ± 0.37 ppm) y el menor al día 92

(1.77 ± 0.20 ppm). La interacción TL*TH no afectó ($P > 0.05$) los niveles séricos de Zn (Cuadro 5).

6.3.9. Manganeso (Mn)

El promedio general (\pm D.E.) del perfil de Mn (0.1 ± 0.07 ppm) aparece en el Cuadro 3. No hubo efecto significativo ($P > 0.05$) del tipo de lactancia ni del tratamiento hormonal sobre el nivel sérico de Mn. La interacción TL*TH no tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre los perfiles de Mn (Cuadro 5).

En la Figura 17 se presentan esquemáticamente los promedios de Mn a través del tiempo postparto para cada Grupo y se compara con el rango normal reportado en la literatura^{43, 44}. Se encontró correlación negativa significativa ($P < 0.05$) entre el Mn y el tiempo postparto (Cuadro 5). Se observó una tendencia a menor concentración de Mn en el día 155 (0.08 ± 0.02 ppm) y a mayor en el día 113 (0.21 ± 0.01 ppm); aunque las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$).

El Mn tuvo una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) con el Zn dentro del modelo general y en particular para los Grupos A y C (Cuadro 8). También hubo una correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$), entre el Mn y el peso vivo, en los Grupos A ($r = -0.6152$) y B ($r = -0.5153$), tal como se presenta en las figuras 18 y 19, respectivamente.

6.3.10. Cobre (Cu)

El promedio general (\pm D.E.) del Cu (0.6 ± 0.3 ppm) durante el estudio se presentan en el Cuadro 3. El tipo de lactancia tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre el perfil de Cu; siendo mayor ($P < 0.05$) en el Grupo B (0.7 ± 0.04 ppm), que en los Grupos A y C

(0.5 ± 0.03 ppm y 0.5 ± 0.03 ppm, respectivamente). El tratamiento hormonal no afectó significativamente ($P > 0.05$) esta variable.

En la Figura 20 se ilustra la variación del perfil sérico del cobre durante el experimento y para cada tipo de lactancia, comparándolo con el rango reportado como normal en la literatura^{43,44}. No hubo efecto significativo ($P > 0.05$) de la interacción TL*TH (Cuadro 4).

El coeficiente de correlación entre el tiempo postparto y el cobre fue positivo altamente significativo ($P < 0.01$); el mínimo valor ocurrió el día 78 (0.31 ± 0.07) y el máximo el día 141 (0.94 ± 0.06 ppm) (Cuadro 5).

El Cu mostró una correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) con el Mn dentro del modelo general; sin embargo, el tipo de lactancia no afectó ($P > 0.05$) el perfil de Cu (Cuadro 6).

6.3.11. Selenio (Se)

Las concentraciones séricas de Se en todos los animales del presente estudio no fueron detectables por la técnica utilizada; sin embargo, en el Cuadro 3 se presenta el rango reportado como normal en la literatura^{44,45}.

6.3.12. Cobalto (Co)

La concentración de cobalto en suero se encuentra a niveles fuera de los detectables por la técnica utilizada en este trabajo, por lo que no se reportan valores para este elemento. En el Cuadro 3 se presenta el rango normal para los bovinos reportado en la literatura^{44,45}.

VII.- DISCUSIÓN

7.1 Reproducción

La intensidad del amamantamiento, la duración del anestro postparto y las tasas de preñez han mostrado una relación muy estrecha ⁴⁶. La hipótesis de que el amamantamiento retarda la actividad ovárica postparto ha sido corroborada en varias investigaciones ⁴⁷. El amamantamiento aumenta el intervalo del parto a primer calor, bloqueando la liberación pulsátil de LH ⁴⁸. Short *et al.* ⁴⁷ encontraron que la mastectomía y el destete temprano acortaron el intervalo del parto al estro.

En el presente trabajo las vacas en amamantamiento restringido presentaron menor intervalo parto-estro y mayor número de estros durante el empadre, que las que amamantaron, lo que se reflejó en una mayor tasa de concepción ($P < 0.05$) en los subgrupos C1 y C2, siendo aún mayor en los subgrupos destetados a 60 días (B1 y B2) ($P > 0.05$). Sin embargo, el intervalo parto concepción no varió ($P > 0.05$) en función del tipo de amamantamiento, edad al destete o tratamiento hormonal. La tasa de anestro al finalizar el empadre fue mayor ($P < 0.05$) para los subgrupos en amamantamiento continuo (A1 y A2). Aparentemente la lactación inhibe la actividad estral en la vaca sin afectar el desarrollo folicular ⁴⁷.

7.1.1. Intervalo Parto-Estro (IPE)

Algunos autores ^{8, 46} aseguran que el amamantamiento incrementa el IPE por afectar la liberación de GnRH del hipotálamo, o por alterar la respuesta de la hipófisis a los

esteroides. Tegegne *et al.* ⁴⁶ reportaron que el amamantamiento restringido redujo 13 días el IPE, incrementó la proporción de vacas que mostraron estro y elevó la tasa de preñez.

En el presente estudio el IPE mostró una tendencia a menor duración en el subgrupo B2, probablemente debido a que en este subgrupo hubo mayor número de vacas que presentaron celo natural, aún cuando se aplicó el tratamiento hormonal en el día 60 postparto. Por el contrario el IPE en los subgrupos A2 y C2 tendió a ser mayor ($P>0.05$). Moore y Campos da Rocha ² en vacas que solo amamantaron un mes, indicaron que el IPE fue más corto ($P<0.05$) comparado con las que amamantaron 2 o más meses. En otro estudio ²⁷ sobre amamantamiento restringido con vacas Brahman, el intervalo promedio del parto al primer estro fue de 68 días. Bolaños *et al.* ⁴⁹ observaron inactividad reproductiva en las primeras ocho semanas postparto y el IPE promedió 87 ± 19 días.

Aún cuando no se detectó efecto significativo del tipo de lactancia sobre el IPE, la restricción del amamantamiento y el destete a los 60 días postparto, provocó que en el Grupo B hubiera mayor cantidad de vacas ciclando después del primer servicio, lo que a su vez aseguró mayor número de estros y servicios durante el empadre; en consecuencia aumentó las posibilidades de preñez en ambos subgrupos (B1 y B2). Estos resultados concuerdan con las observaciones de Williams ⁵⁰, en donde el destete resultó eficaz para vacas que no ciclaron después de la primera ovulación.

7.1.2. Respuesta al Tratamiento Hormonal

El 80% de las vacas presentan estro en un lapso de 48 a 72 horas después de retirado el implante, pero la fertilidad es menor que la de celo natural (Zarco y Hernández ⁵¹). En el presente estudio, la respuesta fue más uniforme en los subgrupos tratados con Norgestomet + Valerato de Estradiol + PMSG (A1, B1 y C1). Cavallieri *et al.* ⁵² encontraron

que al retirar el tratamiento con Norgestomet de 10 días+valerato de estradiol y PMSG, es menor la variación en el tiempo al que ocurre la ovulación y el pico de LH ($P<0.02$). Esto indica que la combinación hormonal favorece la sincronización, aún cuando las vacas permanezcan en amamantamiento continuo; y que la restricción del amamantamiento o la reducción de la edad al destete no aumentó la respuesta. En otro estudio realizado en 362 vacas cárnicas en anestro que amamantaban a sus crías, que fueron tratadas con diferentes combinaciones hormonales, se demostró que el tratamiento con progesterona (P4) + benzoato de estradiol (BE) incrementó la proporción de vacas en estro y formaron CL ($P<0.01$); comparado con los tratamientos de P4 o BE por separado⁵³.

Lo anterior sugiere que el tratamiento hormonal ejerce su efecto sobre la respuesta solo hasta las 48 horas y que, posteriormente, se adiciona el efecto del destete, como ocurrió en el subgrupo B2 que superó al subgrupo A1, y también explica porque la respuesta en el subgrupo B2 a las 72 h fue similar a los subgrupos tratados con implante. Estos hechos resultan importantes desde el punto de vista práctico, ya que al restringir el amamantamiento con destete precoz, mejoró la respuesta al tratamiento con PMSG.

7.1.3. Fertilidad a Inseminación Artificial (FIA)

La tasa de gestación por inseminación artificial fue mayor ($P<0.05$) en el subgrupo C2 y menor ($P<0.05$) en el A2, en ambos subgrupos el tratamiento hormonal consistió solo en PMSG; sin embargo, resultados intermedios, pero más homogéneos, se obtuvieron en los subgrupos A1, B1 y C1, que fueron tratados con Norgestomet+PMSG. Estos resultados coinciden con los de Grimard *et al.*⁵⁴ que en 723 vacas Charolais tratadas con 600 UI de PMSG y doble inseminación a 48 y 72 horas obtuvieron 42% de FIA; sin

embargo, la diferencia con el presente estudio estriba en la dosis de PMSG (250 UI) y un solo servicio.

Por otro lado, en los subgrupos A2, B2 y C2, la FIA varió en función del tipo de lactancia, ya que todos ellos fueron tratados solo con PMSG, pero la edad al destete fue la fuente principal de variación.

La fertilidad a primer servicio fue mayor ($P < 0.05$) en el subgrupo C2 comparado con el subgrupo B2. Se ha propuesto que el porcentaje de fertilidad en el postparto temprano es baja ⁴⁷. El bajo porcentaje de fertilidad al estro sincronizado en los subgrupos B1 y B2 pudo deberse al poco tiempo postparto; aún cuando el destete se realizó a los 60 días postparto y manifestaron celo, éste no necesariamente fue fértil. Se ha documentado que durante el postparto temprano los ciclos estrales y cuerpos lúteos no son normales ⁴⁷. Los ciclos estrales cortos después de la primera ovulación son comunes durante el período postparto temprano en la vaca cárnica lactando ⁵⁵.

Laster *et al.* ⁵⁶ encontraron que las vacas destetadas requieren más servicios por concepción que las no destetadas. Esto sugiere que el destete acelera el reinicio de la actividad ovárica pero no mejora la fertilidad en los primeros ciclos estrales; en consecuencia el número de servicios por concepción (SPC) aumenta, mientras que el IPC puede ser similar entre las vacas destetadas y las que continúan amamantando. Contrariamente, Moore y Campos da Rocha ², obtuvieron 1.7 SPC en vacas Gyr que amamantaron durante un mes en comparación con 4.6 SPC en las que amamantaron durante 6 meses.

Por otro lado, Lamb *et al.* ⁵⁷ reportan que el vínculo materno perdura por más de cuatro semanas postdestete. Es probable que la baja fertilidad en las vacas del Grupo B del presente estudio se debiera a que el vínculo vaca-becerro permaneció en los primeros días postdestete, coincidiendo con la sincronización del estro y el primer servicio. Estas vacas, que tuvieron

amamantamiento restringido, pudieron presentar celos anovulatorios al mantener el vínculo con la cría de las vacas en amamantamiento continuo al pastorear juntas. En el estudio de Lamb *et al.* ⁵⁷, para prolongar la anovulación, parece ser esencial la remoción de la leche después de reforzar el vínculo vaca-becerro (original o restablecido). En el presente estudio pudo ocurrir que algunas vacas en amamantamiento restringido y/o destetadas, reforzaran el vínculo materno al permitir el mamado por crías ajenas.

Existen evidencias ⁴⁸ de que el destete en las primeras 3 a 5 semanas postparto ocasiona incremento en la concentración de LH por un lapso de 48 h; sin embargo, tal incremento no ocurrió cuando retornaron los becerros y se restableció el amamantamiento.

Las vacas, aún cuando hayan sido destetadas al mes postparto, pueden mantener su peso o perderlo progresivamente durante un período de dos meses postdestete, antes de que se inicie su recuperación ². Esta pérdida de peso postdestete podría estar asociada al estrés fisiológico causado por la separación misma del becerro; en las vacas se ha observado reducción en el consumo alimenticio e incremento en el gasto energético por la búsqueda del becerro, lo cual se ha asociado con fallas en la fertilidad.

Aparentemente el amamantamiento continuo no afectó la fertilidad en el subgrupo A1. Se ha demostrado que ciertas razas tienen la habilidad a mostrar actividad ovárica postparto en diferentes espacios de tiempo, aún bajo las mismas condiciones medioambientales ⁸. En animales lactando, frecuentemente la primera ovulación postparto se acompaña por falta de signos de estro ^{27, 58}. También, en vacas tratadas con hormonales se pueden presentar signos de estro sin ovulación ⁵¹.

En vacas cármicas en anestro amamantando a sus crías, el tratamiento con progesterona provocó el reinicio de la función lútea, mientras que el benzoato de estradiol promovió la expresión del estro ⁵³. En el presente estudio, las vacas del subgrupo A1 mostraron signos de

estro y ovularon, alcanzando una tasa de fertilidad a IA similar a sus homólogas de los subgrupos B1 y C1. Se ha sugerido que el nivel de estradiol en sangre, permanece aún después de retirado el implante, intensificando los signos de estro ⁵¹; esto pudo haber ocurrido en las vacas del subgrupo A1.

7.1.4. Tasa de Concepción o Fertilidad Total (FT) e Intervalo Parto-Concepción (IPC)

Se ha demostrado que el cese temprano de la lactación incrementa la tasa de concepción en un empadre estacional controlado ²; asimismo, cuando se restringió el amamantamiento disminuyó el intervalo parto estro e incrementó la tasa de concepción ⁵⁰. Brundrett *et al.* ⁵⁰, también obtuvieron mayor tasa de preñez al combinar el destete temprano con Norgestomet y valerato de estradiol. En el presente trabajo, la fertilidad total fue mayor en los subgrupos B1, B2, C1 y C2, en amamantamiento restringido, en comparación con los subgrupos A1 y A2, en amamantamiento continuo ($P < 0.05$).

Estos resultados sugieren que el tipo de amamantamiento tiene un efecto determinante sobre la fertilidad, mientras que el tratamiento hormonal no influyó en la tasa de preñez. También, en otros estudios ^{2, 46}, la tasa de concepción fue mayor en vacas con amamantamiento restringido que en las que amamantaron libremente, alimentadas en un mismo plano nutricional durante el periodo postparto. Algunos autores ⁸ reportan 16.5% más preñez en grupos destetados 8 días antes del empadre que los grupos control; el efecto detrimental fue más notorio en vacas primíparas.

De acuerdo con las evidencias, el desempeño reproductivo postparto mejora al disminuir la edad al destete. Short *et al.* ⁴⁷, Laster *et al.* ⁵⁶ y Pimentel *et al.* ⁸ reportan mayor tasa de concepción cuando se aplica el destete precoz. En los subgrupos de amamantamiento

restringido del presente trabajo, aún cuando la diferencia en la tasa de preñez no fue significativa ($P > 0.05$), se apreció una clara tendencia a mayor tasa de preñez en las que destetaron a 60 días contra las de 180 días; sin embargo, el Grupo B (amamantamiento restringido y destete a 60 días) obtuvo significativamente ($P < 0.05$) la mayor tasa de preñez en comparación con el Grupo A, que amamantaron *ad lib.* hasta 180 días (89% v.s. 56%, respectivamente).

Moore y Campos da Rocha² reportaron que el destete temprano redujo el intervalo parto concepción en vacas Gyr. En el presente estudio la restricción del amamantamiento combinado con el destete precoz, aumentaron significativamente la tasa de preñez, pero el intervalo parto concepción no disminuyó; lo cual coincide con varios autores^{8, 47, 48, 50, 56}.

7.1.5. Anestro

En la vaca cárnica es característica la supresión de la actividad ciclica ovárica durante el postparto temprano⁵⁰. La duración del anestro postparto se ha asociado con el estado nutricional, la edad y la lactación o amamantamiento^{27, 46}; sin embargo, la frecuencia y duración del amamantamiento, prolongan el anestro postparto^{46, 50}. Dos o tres amamantamientos (succiones) por día, se consideran estímulo suficiente para prolongar el anestro⁵⁰.

Tanto la leche residual, como el estímulo neural en la glándula mamaria, inhiben la actividad ovárica en forma similar al que tienen las vacas lactando o amamantando. Short *et al.*⁴⁷ demostraron que al remover la ubre, se eliminó el efecto de centros nerviosos y el de la producción de leche, logrando acortar el intervalo parto-estro. El retorno a la ciclicidad ovárica está asociado con la secreción hipotalámica de GnRH; sin embargo, el amamantamiento inhibe la síntesis o secreción de GnRH, pero aún no queda claro el

mecanismo y, recientemente, se han implicado a las endorfinas. Por otro lado, en las vacas cármicas el estrés metabólico de la lactación forma parte del mecanismo por el cual, el amamantamiento deprime la función reproductiva ⁵⁹.

Los subgrupos de amamantamiento continuo del presente trabajo tuvieron los porcentajes de anestro más elevados (Figura 2), lo cual sugiere que el amamantamiento bloquea la actividad ovárica. Las investigaciones de Carruthers *et al.* ⁸ demostraron que el amamantamiento evitó la secreción de LH en vacas durante el postparto temprano. También, en estudios en donde las vacas no amamantan, la actividad ovárica se restablece en un período de 10 a 14 días postparto, coincidiendo con la liberación pulsátil de LH entre los días 7 a 14; sin embargo, este fenómeno no ocurrió en las vacas que amamantaron ⁵⁰.

Mukasa-Mugerwa *et al.* ⁶⁰ trataron vacas Boran con un dispositivo intravaginal liberador de progesterona antes de los 60 días postparto; ese tratamiento no redujo la duración del anestro en las vacas que amamantaron dos veces al día y solo 21 % mostraron signos de estro. En las vacas en amamantamiento continuo, del presente trabajo, la incidencia de anestro ocurrió en el 25% cuando fueron tratadas con norgestomet+PMSG (subgrupo A1), pero fue mayor (50%) en las tratadas con PMSG (subgrupo A2).

Los resultados del presente trabajo sugieren que la sola restricción del amamantamiento es estímulo suficiente para reducir el porcentaje de anestro y favorece el desempeño reproductivo postparto, tal como ocurrió en las vacas tratadas con PMSG (subgrupo B2 y C2) y en los tratados con Norgestomet y PMSG (subgrupos B1 y C1). También los resultados de Moore y Campos da Rocha ², indican que el cese temprano de la lactación redujo el anestro postparto durante un empadre estacional controlado.

La combinación del destete temporal con Norgestomet y valerato de estradiol en vacas en buena condición corporal podría inducir la ovulación ⁵⁰. En los grupos del presente estudio

con esa combinación hormonal y restricción del amamantamiento tuvieron menor incidencia de anestro. Esto puede explicar la menor tasa de preñez en los subgrupos A1 y A2. En forma similar Pimentel *et al.*⁸ redujeron el anestro postparto de 60% en vacas con amamantamiento continuo a 14% en el grupo destetado. También, en otro estudio⁴⁶, se demostró inactividad ovárica en el 60% de las vacas a causa del efecto supresivo del amamantamiento continuo sobre el eje hipotálamo-hipofisis-gónada.

7.2 Condición Corporal y Peso Vivo

En ganado para carne que amamanta un becerro, los requerimientos nutricionales pueden incrementarse hasta en un tercio⁶¹. En el trópico, bajo las condiciones comunes de pastoreo, dichos requerimientos no se cubren, repercutiendo en una severa pérdida de peso y condición corporal durante el período de lactancia. La condición corporal al parto y la severidad de la desnutrición durante la lactación son factores importantes que determinan la productividad de una vaca². En el trópico es común un largo intervalo entre partos y tasas de parición bajas².

Se ha demostrado la influencia de la condición corporal al parto sobre la variación en el intervalo parto-estro; cuanto menor es la condición corporal al parto, más largo es el interparto^{62, 63}. Por el contrario, vacas con buena condición corporal al parto, expresan su potencial movilizando sus reservas corporales para soportar la lactancia, a pesar de las pérdidas de peso sufridas⁶⁰. El estrés lactacional se ha reducido mejorando la nutrición postparto, restringiendo el amamantamiento y/o la reduciendo la edad al destete².

Los cambios que ocurren en la grasa corporal han sido asociados con los cambios en la actividad reproductiva; sin embargo, es poco probable que la grasa corporal *per se* regule la secreción de GnRH^{64,65}.

En este trabajo, el tipo de lactancia tuvo un efecto altamente significativo ($P < 0.001$) sobre la condición corporal (CC) y el peso vivo (PV). El hecho de que el amamantamiento continuo disminuyó drásticamente la CC y el PV durante el periodo postparto, sugiere que los pastos no cubrieron las necesidades de energía durante la lactación y las vacas hicieron uso de sus reservas corporales⁶⁶. Cuando los requerimientos de aminoácidos exceden la cantidad de proteína aportada por la dieta o microorganismos ruminales, también se movilizan las reservas corporales de proteína⁶⁷. En las vacas muy emaciadas no solo se han removido reservas de energía del tejido adiposo, sino que además, proteínicas del tejido muscular.

La pérdida de peso de la vaca del parto al destete está directamente relacionada con la edad al destete del becerro² y con el tiempo necesario para equilibrar el balance energético, en función de la cantidad de reservas y la eficiencia con la que son movilizadas⁶⁸.

En el presente estudio el tipo de lactancia tuvo un efecto altamente significativo ($P < 0.0001$). Los tres grupos parieron con CC similar ($P > 0.05$), coincidiendo con lo reportado por Rutter *et al.*⁵⁹ en donde la CC no cambió entre grupos a las dos semanas postparto. Posteriormente, en las vacas del Grupo A la pérdida de peso y condición corporal para el día 34 postparto fue significativa ($P < 0.05$). En este Grupo la recuperación inició el día 127 postparto pero nunca alcanzó el nivel al parto. En el caso de las vacas del Grupo B, la CC disminuyó desde el parto hasta 50 días postparto, iniciando su restablecimiento por el día 64 y llegar a la CC original en el día 127. En las vacas del Grupo C, en amamantamiento

restringido, la CC cayó desde el parto hasta el día 92 postparto y, aún cuando hubo cierta recuperación, nunca alcanzó la CC original (Figura 3).

El mismo efecto significativo ($P < 0.001$), en función del tipo de lactancia ocurrió con el PV, tal como ilustra la Figura 4. Diversos autores coinciden en que la pérdida de peso durante el postparto temprano no difiere en vacas lactando y no lactando^{2, 22, 59}. Oxenreider *et al.*²² reportaron que todas las vacas pierden peso los primeros 56 días postparto, excepto cuando reciben una dieta alta en energía y no lactan; los animales lactando tuvieron la pérdida de peso más severa hasta que finalizó el experimento.

También Moore y Campos da Rocha², sostienen que las vacas amamantando sufrieron una severa pérdida de peso durante los primeros tres meses de lactación, la cual se redujo cuando los becerros se destetaron al mes o tuvieron amamantamiento restringido. Los grupos destetados a los 3 y 5 meses continuaron perdiendo peso aún después del destete.

En vacas cárnicas subalimentadas y amamantando, la movilización de reservas corporales decrece durante el postparto⁶⁸. En situaciones en las que previamente hay un balance energético negativo, el balance energético se equilibra durante el postparto, aunque este efecto no se da si se prolonga el amamantamiento. En las vacas que amamantaron *ad lib.* hubo una pérdida severa de CC hasta el día 113 postparto, aún cuando el destete se realizó hasta 180 días postparto. En otro trabajo², las vacas que destetaron a los 6 meses se frenó la pérdida de peso después del quinto mes de lactación; lo cual se atribuyó a que a partir del quinto mes disminuyó la producción de leche y hubo mayor disponibilidad de nutrientes para la reconstrucción de reservas corporales.

Moore y Campos da Rocha² reportan que la pérdida de peso fue del 5% en el grupo que amamantó solo un mes; mientras que fue del 27% en las que amamantaron seis meses ($P < 0.05$). En forma similar las vacas del Grupo B del presente trabajo perdieron el 4.15%

del PV desde el parto hasta el día 53, para recuperarlo el día 108 y logrando 2% más al final del empadre. Las vacas del grupo C perdieron el 4.8 % de su peso entre el parto y el día 53, cuando comenzó su recuperación sin alcanzar el peso registrado al parto. En las vacas del Grupo A, la pérdida de peso del parto al día 50 fue de un 10.3%, recuperando solamente el 1.3%, para llegar al final del empadre con un 9% menos del PV original. Tal situación indica que la restricción del amamantamiento bastó para detener o evitar una severa pérdida de peso postparto. Al respecto, Corro ¹² sugiere que una pérdida de peso de alrededor del 12 % puede comprometer el desempeño reproductivo.

Se ha observado que las vacas con períodos cortos de lactación conciben en menor tiempo postparto, antes de que ocurra mayor pérdida de peso; mientras que las vacas que amamantan por períodos largos, la concepción se retrasa hasta que recuperan el peso perdido durante la lactación. Se ha propuesto un peso mínimo, por debajo del cual las vacas no conciben, como un mecanismo fisiológico que opera cuando la pérdida de peso es mayor del 25 ó 30 % de su peso adulto ². No obstante, se ha visto que la producción de leche o el peso corporal no influyeron en la duración de la fase anovulatoria postparto, detección del estro, o función lútea ⁵⁸. El estrés nutricional en la vaca amamantando es comúnmente aceptado como la principal causa de la baja eficiencia reproductiva en el ganado de carne en el trópico ^{2,48,61}.

Las vacas con peso y condición corporal deficientes al parto, invierten mas tiempo en reanudar la actividad ovárica ^{46, 62, 69}. Perry *et al.* ⁶⁸ reportaron que la desnutrición al parto afectó el crecimiento folicular. Los niveles nutricionales en el periodo preparto influyen la subsecuentemente eficiencia reproductiva del ganado: la restricción de proteína y energía durante la gestación ocasionó pobre condición corporal al parto y, en consecuencia mayor intervalo al primer estro y disminución en la tasa de preñez ⁶².

En el presente estudio, no hubo diferencias entre grupos en cuanto a condición corporal al parto, por lo que la falla reproductiva se atribuye a los cambios en la CC durante el postparto. Al respecto, Tegegne *et al.* ⁴⁶ mencionan que los cambios de peso y condición corporal durante el postparto afectan la duración del anestro y la subsecuente fertilidad. En el presente estudio se encontró correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) entre la CC y el intervalo parto-estro, que se reflejó en un intervalo parto-concepción más largo. Frecuentemente las vacas en balance energético negativo no ovulan ⁶¹. Por lo tanto, la edad temprana al destete en las vacas del Grupo B del presente estudio, favoreció la rápida y eficiente recuperación del peso vivo y CC, mejorando la eficiencia reproductiva.

Zarco y Hernández ⁵¹ aseguran que se requiere una buena CC al aplicar los tratamientos de sincronización para obtener una respuesta adecuada. En este trabajo todas las vacas que se encontraron debajo de una CC menor a 2.5 no respondieron al tratamiento hormonal. En vacas Charolais igualmente tratadas, la condición corporal y peso al parto afectaron la fertilidad ⁵⁴. Sin embargo, Soto ⁷⁰ no encontró ninguna utilidad sobre la actividad sexual al complementar novillonas Brahman con CC mayor a 3. Se ha sugerido que si la CC es baja al sincronizar el estro, la jerarquía será el factor que regule la manifestación del estro ^{70, 71}. También, Soto ⁷⁰ encontró que las vacas con mayor CC y mayor jerarquía, fueron las que iniciaron la actividad de monta. En el presente trabajo coinciden con lo anterior, ya que el ITIE tuvo una correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) con la CC. Lo que está indicando que a mayor CC, mayor ITIE, lo que se explica con el supuesto de que las vacas con mayor CC comenzaron a montar a las vacas con menor CC que, por su menor jerarquía, lo permitieron; considerándose con ello en estro.

En un estudio ⁶³, la máxima reducción del intervalo postparto ocurrió cuando las novillas ganaron 1.8 unidades de CC durante los primeros 90 días de lactación. También en el

estudio de Bolaños *et al.* ⁴⁹, las vacas con mayor CC reanudaron actividad ovárica. En el presente trabajo las vacas del Grupo B mostraron tendencia a menor IPE, coincidiendo con la recuperación de la CC antes de los 90 días postparto; asimismo, en el subgrupo B1 acumuló mayor porcentaje de vacas en estro natural antes de iniciar el empadre.

Otros autores ⁶⁹ reportan que vacas amamantando con baja CC al parto sufren de anestro postparto prolongado, comparado con las que destetados a 30 días postparto mantuvieron el peso y la ciclicidad ovárica reinició a los 50. Esa respuesta al destete precoz fue inhibida en vacas que parieron con baja CC y que además perdieron peso durante el postparto. En contraste, en las vacas con adecuada CC al parto y que perdieron 23% de peso, no afectó el reinicio de la actividad ovárica ni el IPC en respuesta al destete a los 60 días postparto. El intervalo acíclico postdestete se correlacionó negativamente con la CC al destete y positivamente con la intensidad del amamantamiento ($P < 0.05$).

Es difícil diferenciar si un mayor peso *per se* o la ganancia de peso durante los primeros meses postparto influencia más el reinicio de la actividad ovárica ⁴⁹. Como se ha observado hasta ahora, la fertilidad se eleva cuando las hembras ganan peso, por lo que resulta probable que los primeros 60 días postparto sean el periodo crítico que determine la eficiencia reproductiva en las vacas cárnicas ⁶². En vacas con desnutrición, aumenta la fertilidad cuando ganan peso 30 días antes, durante y 30 días después del periodo de empadre ⁶¹. Asimismo, la función lútea está más asociada a cambios en la CC que a cambios en el balance energético ⁵⁸. Esto puede explicar porque en las vacas del Grupo B del presente trabajo, que perdieron menos CC, hubo mayor tasa de preñez. De igual forma ocurrió en vacas Charolais, en donde la fertilidad se asoció positivamente con la CC después del tratamiento con progestágenos y PMSG ⁵⁴. También, en vacas Gyr, el porcentaje de preñez

mejoró cuando se corrigió la dieta durante la lactación y/o cuando se eliminó el estrés lactacional con el destete ².

Hay algunas controversias acerca del nivel de nutrición postparto que pudiera promover la reproducción temprana y las tasas de preñez. Algunos autores ⁶² proponen que se puede predecir el inicio del estro y la concepción postparto a partir del peso y condición corporal al parto. Mukasa-Mugerwa *et al.* ⁶⁰, en vacas Boran, reportan una ganancia de 25 Kg de PV cuando se incrementa un punto de CC; sin embargo, se pierden 50 Kg de PV al disminuir un punto de CC. El grado de cambio en el PV está relacionado a la combinación de condición corporal de la vaca al parto y buen manejo nutricional postparto. El intervalo entre partos, debido al anestro, se relacionó inversamente con la CC al parto, sugiriendo la necesidad de mantener el peso corporal durante el postparto para asegurar el retorno temprano de la actividad reproductiva.

En el presente estudio, la restricción del amamantamiento en el Grupo C fue suficiente para mantener la CC y PV en un nivel apropiado para el desempeño reproductivo y que el destete a 60 días, en el Grupo B promovió mayor aumento de CC; por el contrario, el amamantamiento continuo (Grupo A) provocó una severa pérdida de peso y CC. Esto sugiere que el manejo del anestro postparto en vacas *Bos indicus*, cuando son mantenidas en un mismo plano nutricional, debería enfocarse a la conservación de la CC postparto, a través de la restricción del amamantamiento y el destete precoz.

7.3 Metabolitos y Minerales

7.3.1. Glucosa (Glc)

El nivel sérico de glucosa en vacas, considerado normal, varía entre los diversos autores ^{32, 39, 40, 41, 42}, sin embargo, el rango puede establecerse entre 30 y 75 mg/dl. En el presente estudio el promedio (\pm D.E.) de glucosa fue de 39.1 ± 14.0 mg/dl, que se ubica dentro del rango normal.

En los rumiantes la principal fuente de energía no es la glucosa sino el ácido acético y el propiónico ²⁴. Sin embargo, el metabolismo de algunos tejidos, como el nervioso, retina, músculo, adiposo, glándula mamaria, epitelio germinativo de las gónadas y el feto, depende estrictamente de la glucosa como fuente de energía para su adecuado funcionamiento ^{72, 73}. De esta forma, el aporte de precursores de glucosa en la dieta de los rumiantes es necesario para un adecuado suministro de energía y, al igual que las demás especies animales, los rumiantes requieren de glucosa para el metabolismo basal; por esta razón, la concentración de glucosa en la sangre (40 a 60 mg/dl) refleja un rango similar que en los no rumiantes ⁷².

La glándula mamaria es uno de los tejidos más altamente diferenciados y metabólicamente activos del cuerpo; los periodos más críticos, en la distribución de nutrientes, se consideran al inicio de la lactancia y durante la secreción copiosa de leche. Durante el periodo de máxima producción, la glucosa es un nutriente clave para la glándula mamaria, requiriendo hasta el 80 % del total de glucosa circulante. Esto implica una respuesta coordinada en todo el organismo, para aumentar la gluconeogénesis hepática y movilizar glucógeno; además, otros tejidos oxidan nutrientes para generar energía y permitir la distribución de mayor porcentaje de glucosa a la glándula mamaria ⁷⁴.

El amamantamiento al igual que el ordeño causa pérdida de nutrientes en la leche, por lo que las necesidades de glucosa en vacas amamantando son mayores que en las que no amamantan; sin embargo, este déficit de glucosa es más acentuado en vacas en un plano nutricional bajo⁸. Esto indica que los nutrientes requeridos para la producción de leche, crecimiento y resíntesis de componentes corporales degradados cada día, son menores a las cantidades absorbidas desde el tracto digestivo⁷⁵. Durante estos periodos, la absorción de glucosa puede ser del orden de 5.1 mol/d, mientras la utilización es de 22.1 mol/d. Al respecto, Troncoso⁶⁶ y Schingoethe *et al.*⁶¹ sugieren que cuando la dieta no cubre las necesidades de energía al inicio de la lactación, la alta demanda de glucosa para la síntesis de leche deprime la concentración de oxalacetato y obliga a usar las reservas corporales; esto trae como consecuencia acumulación de cuerpos cetónicos en la sangre, manifestándose el cuadro clínico típico de cetonuria, cetonemia e hipoglucemia⁷⁶.

La evaluación del aporte de energía en la dieta sobre el nivel de glucosa y otros metabolitos sanguíneos han sido objeto de varios estudios. En vacas Charolais, la concentración media de glucosa del parto al día 70 postparto fue mayor en las que recibieron los requerimientos adecuados de energía que en aquellas alimentadas al 70 % de los requerimientos^{54, 68}. Sin embargo, Uremovic *et al.*⁷⁷ no encontraron diferencias en la concentración de glucosa plasmática en las vacas alimentadas con el nivel recomendado de energía y las que recibieron 25.2 % más del requerimiento.

Los estudios del efecto de la densidad energética de la dieta sobre la concentración plasmática de glucosa se han realizado en vacas en ordeño. De aquí la pregunta ¿hay diferencias en el perfil sérico de glucosa en vacas que amamantan continuamente, en comparación con las que se someten a la restricción del amamantamiento y de aquellas en las que además se les aplique el destete precoz, bajo las mismas condiciones de alimentación?

Las fuentes principales de glucosa en los rumiantes incluyen: absorción en el tracto gastrointestinal (cantidades limitadas) y gluconeogénesis (a partir de propionato, aminoácidos, lactato y glicerol, generados en los tejidos extrahepáticos)^{14, 75}; por ello, es poco probable que se encuentren diferencias en el perfil sérico de glucosa entre vacas lactando y no lactando. En el presente trabajo, el tipo de lactancia no tuvo efecto significativo ($P > 0.05$) sobre el perfil sérico de glucosa. Tampoco Radford *et al.*⁸ encontraron diferencia en los niveles de glucosa plasmática en vacas amamantando y sin amamantar. Bolaños *et al.*⁴⁹ no observaron cambios en los niveles séricos de glucosa durante el puerperio y lactancia en ganado lechero en pastoreo ad libitum complementadas con pequeñas cantidades de concentrado en condiciones tropicales. Por su parte, Oxenreider y Wagner²² sostienen que la lactación y el bajo consumo de energía deprimen el nivel plasmático de glucosa, ya que éste fue mayor en las vacas que destetaron en comparación con las que continuaron lactando. También, en ese mismo estudio, las vacas alimentadas con niveles altos de energía que destetaron, tuvieron mayor nivel de glucosa en la sangre que las alimentadas con niveles normales o bajos de energía en la dieta.

En la Figura 8 se puede apreciar que los valores de glucosa sérica en los tres grupos experimentales del presente estudio, estuvieron por debajo del límite normal, sin mostrar manifestaciones clínicas de deficiencia. El sistema nervioso central en rumiantes, a diferencia de los no-rumiantes, puede tolerar la hipoglucemia a niveles tan bajos como 18 mg de glucosa/dl de sangre por periodos prolongados (6 horas), sin provocar efectos adversos⁷².

La concentración de glucosa es baja durante el postparto y no se perturba por cambios en el *status* energético²¹. En el presente trabajo, todos los grupos recuperaron progresivamente el nivel sérico normal de glucosa al avanzar el tiempo postparto; en el Grupo B dicha elevación al rango normal fue más notable al día 50 postparto. Todos los grupos mostraron

niveles dentro del rango normal para el día 78 postparto, evidenciándose un incremento progresivo hasta el final del empadre. Lucy *et al.* ²¹ reportaron que la concentración de glucosa en sangre se incrementó significativamente conforme avanzó el tiempo postparto. En la Figura 8 se aprecia una caída en el perfil sérico de glucosa en el día 92 postparto en todas las vacas del estudio; es probable que ese fenómeno se halla debido a mal manejo de la muestra, ya que en ese muestreo la separación del coágulo tuvo un retraso. La prolongación del contacto de la glucosa sérica con los eritrocitos pudo provocar pérdida de glucosa sérica ^{32, 45}. Exceptuando ese muestreo, se puede afirmar que al inicio del postparto la glucosa se encuentra en niveles bajos, independientemente del tipo de amamantamiento y/o edad al destete, y que conforme avanza el tiempo postparto el perfil progresivamente llega al rango normal después de los 78 días postparto.

Por otro lado, en el presente estudio la interacción TL*TH fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$) sobre el perfil sérico de glucosa, sin embargo esto no tiene una explicación lógica; las vacas del subgrupo A1 tuvieron el nivel mas bajo (33.5 ± 12.2 mg/dl), el cual difirió ($P < 0.05$) del subgrupo A2. Ambos subgrupos tuvieron el mismo tipo de amamantamiento y no hay antecedentes en la literatura de la forma en que el tratamiento hormonal para la sincronización del estro pudiera afectar el perfil sérico de glucosa. Grimard *et al.* ⁷⁸, en vacas Charolais amamantando, fueron sincronizadas con el mismo tratamiento hormonal utilizado en el presente estudio a los 60 días postparto, no encontró diferencias significativas en los niveles de glucosa, así como tampoco entre vacas preñadas y no preñadas.

El estado nutricional es determinante para la función ovárica postparto en las vacas, especialmente el consumo de energía. La desnutrición en vacas cárnica postparto retarda la actividad ovárica y la manifestación del primer estro. Aunque los mecanismos aún no son

claros, se sostiene que la función ovárica está controlada por la secreción de las gonadotropinas adenohipofisarias y en consecuencia, el sitio de la influencia nutricional sobre el ovario probablemente radique a nivel del eje hipotálamo-hipofisario ¹⁴.

El reinicio de la función ovárica después del parto es precedida por un incremento en la frecuencia y amplitud de los pulsos de liberación de LH y el crecimiento de los folículos dominantes. Algunos autores ^{64, 65} postulan que el efecto de la restricción de glucosa sobre los patrones de secreción de LH, es distinto a los efectos de la restricción de energía en la dieta. La nutrición inadecuada reduce la frecuencia de los pulsos de LH, mientras que la restricción de glucosa disminuye la amplitud del pulso de LH ⁷⁹. También, se ha postulado que la disponibilidad de sustratos de energía como la glucosa y los ácidos grasos no esterificados, puede afectar la actividad de las neuronas que controlan la liberación de GnRH.

Por otro lado, los mecanismos de homeorresis, que distribuyen nutrientes a los tejidos que los requieren en mayor cantidad durante estados fisiológicos específicos, dan prioridad a las necesidades de mantenimiento del animal, después a los de producción de leche y por último a la reproducción; por lo que la relación glucosa-duración del amamantamiento está asociada a fallas en la reproducción. Los mecanismos homeorrésicos podrían ser similares en las vacas cárnicas lactando o hipoglucémicas ⁵⁹. Debido a que el SNC es muy sensible a la disponibilidad de glucosa ^{64, 65}, el mecanismo para iniciar los pulsos de GnRH se altera en condiciones de alimento limitado.

Un efecto positivo sobre la actividad reproductiva se observó después de administrar glucosa en vacas bien alimentadas amamantando ⁵⁹. En otro experimento en vacas cárnicas se demostró que la infusión de glucosa ocasionó incremento en la insulina y disminución de la lipólisis, como mecanismo homeostático del nivel de glucosa en la sangre ¹⁴. McClure ²³,

en novillas antes y durante el estro, demostró que la administración de 2-desoxy-D-glucosa previno la ocurrencia del estro y la formación de cuerpo lúteo; la 2-desoxy-D-glucosa es un desoxiazúcar que causa una inhibición en el primer paso de la ruta glicolítica al servir como substrato de la enzima hexocinasa^{80, 81}. En vacas, en las que se indujo glucosuria, disminuyó la amplitud de los pulsos de LH⁵⁹.

La inhibición de la glucólisis está asociada con fallas en la presentación del estro y formación del cuerpo lúteo, ello sostiene la hipótesis que la hipoglucemia es el principal cambio bioquímico responsable de la infertilidad inducida por una deficiencia aguda de energía en el ganado lactando²³. Sin embargo, para explicar la alteración en la eficiencia reproductiva del ganado, son mas importantes los cambios en la gluconeogénesis que el cambio en el nivel de glucosa sanguínea¹⁴.

El tipo de forraje interactúa con la función ruminal, por lo que puede influir sobre la función ovárica; menor acidez ruminal interactúa potencialmente con la respuesta ovárica, mientras que la alimentación durante el postparto temprano afecta la fertilidad subsiguiente. De esta forma, las estrategias de alimentación pueden tener efectos directos sobre el desarrollo de los ovocitos que inician su crecimiento 40 a 60 días previos a la ovulación²¹. Esto puede explicar porque las vacas lactantes hipoglucémicas fueron menos fértiles que las vacas con niveles normales de glucosa⁸. Tal resultado se refuerza en lo reportado por otros autores, acerca de una correlación negativa significativa ($P < 0.01$) entre la glucosa y el intervalo parto-primer folículo ($r = -0.50$) y parto-primera ovulación ($r = 0.62$)²².

Sin embargo, la tendencia del organismo a mantener relativamente constantes las concentraciones de glucosa durante el período postparto, aún bajo circunstancias extremas, puede explicar porqué en algunos trabajos no hubo correlación entre la concentración de

glucosa y la eficiencia reproductiva, sugiriendo que la glucosa a un nivel cercano al umbral puede modular la reproducción ⁴⁹.

Debido a que la función del tejido nervioso central depende de glucosa como recurso de energía, la hipoglucemia puede deprimir la función hipotalámica y conducir a una pérdida de la actividad ovárica ²². En el presente trabajo el nivel de glucosa sérica se correlacionó negativamente ($P < 0.05$) con el IPE; esto es, que mientras menor fue la concentración de glucosa, mayor fue el intervalo parto-estro. Estos resultados concuerdan con lo informado por Umesh *et al.* ¹⁸, en donde las vacas anéstricas tuvieron niveles de glucosa significativamente ($P < 0.01$) menores, que las que reanudaron la actividad ovárica. Asimismo, el estradiol plasmático tuvo una correlación negativa con el perfil de glucosa ⁶⁸.

Los animales lactando, alimentados con una dieta baja en energía, tuvieron mayor déficit en el total de nutrientes digestibles (TND) que aquellas que no lactaron, lo cual se reflejó en relación directa con el nivel sanguíneo de glucosa ^{22,8}. La correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) entre el perfil sérico de glucosa y el IPC encontrada en el presente trabajo, pudo darse como consecuencia del IPE o bien por falla en la fertilidad ¹⁴. Avila ⁸² asegura que mientras no se restaure el balance energético durante el postparto, en la primera ovulación serán liberados óvulos de mala calidad o degenerados y se formarán cuerpos lúteos con baja capacidad para secretar cantidades adecuadas de progesterona.

En las vacas del Grupo A del presente estudio, la correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) entre la Glc y el Col, indicó que al aumentar la Glc sanguínea simultáneamente aumenta la concentración de Col. La disponibilidad de lípidos (como ácidos grasos) es mayor en comparación con la cantidad absorbida, debido al reciclaje (lipólisis seguida de la reesterificación o liberación) del triacil-glicerol en el tejido adiposo. Asimismo, la degradación de aminoácidos provee mayor cantidad de acetato que el

absorbido ⁷⁵. La movilización de las reservas de lípidos asegura una cantidad suficiente de precursores de energía. Esto puede promover la formación de acetato como precursor del colesterol.

La absorción de glucosa en el intestino de los rumiantes es muy reducida, lo que los hace altamente dependientes de la gluconeogénesis hepática. De esta manera las reservas de proteína son recursos adicionales de energía en aquellas situaciones de mala alimentación, aportando estructuras de carbono sustituibles para la biosíntesis de glucosa ⁸³. La correlación positiva entre la Glc y el NUS, implica aumento o disminución de la glucosa en relación directa al aumento o disminución de los niveles séricos de nitrógeno uréico. Tal situación puede atribuirse a dos situaciones importantes: una, que ante una deficiencia de energía a nivel ruminal las bacterias no hicieron eficientemente su trabajo en la síntesis proteica por lo que el amoníaco se absorbió desde rumen a torrente sanguíneo siendo transformado a urea en el hígado; la otra, es que ante la insuficiencia de precursores de glucosa tales como el propionato, se utilizaron aminoácidos en la gluconeogénesis elevándose consecuentemente la concentración sanguínea de urea; lo que, en ambos casos, se reflejó en un aumento o disminución en el nivel de nitrógeno uréico en suero. Al respecto, Baldwin y Kim ⁷⁵ proponen que el reciclaje de nitrógeno (degradación de aminoácidos corporales) es mayor comparado con la absorción.

La depresión en las concentraciones de nitrógeno proveniente de aminoácidos durante 12 a 24 horas después del destete, sugiere que la gluconeogénesis hepática a partir de los aminoácidos se incrementa y/o que la movilización de proteína muscular disminuye ⁵⁹.

La correlación negativa entre la Glc y el Mg, encontrada en el presente trabajo (Figura 22), indica que al aumentar la glucosa en el suero la concentración de magnesio disminuyó. El magnesio es un ion esencial de varias reacciones bioquímicas del metabolismo de los

carbohidratos y los lípidos; participa como cofactor y activador de los procesos de fosforilación oxidativa y del metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos ^{84, 85, 86}.

Muchos componentes de la dieta, como ácidos orgánicos, carbohidratos, proteína y ácidos grasos de cadena larga, influyen en la absorción de Mg ⁸⁶. Sin embargo en condiciones de trópico esto es poco trascendente ya que los forrajes son normalmente deficientes de los citados componentes.

Resulta pues interesante que, en el presente estudio, los niveles de glucosa disminuyeron en forma drástica el día 92 postparto y contrariamente, los de magnesio aumentaron en igual magnitud. Es muy probable que ese cambio se haya debido al retraso en la separación del suero en las muestras del día 92 postparto, ya que, si se considera que hay una mayor concentración de magnesio en los eritrocitos, la hemólisis provocada por el mal manejo de la muestra antes de centrifugada ocasionará un aumento en el nivel sérico de dicho mineral y una disminución en el perfil de glucosa.

El Zn es un constituyente de varias metaloenzimas involucradas en los procesos bioquímicos para el metabolismo de ácidos nucleicos y carbohidratos y en la síntesis proteica ²⁴; lo cual pudiera explicar la correlación negativa ($P < 0.05$) entre glucosa y Zn que resultó en el presente trabajo, ya que al aumentar el nivel sérico de glucosa, disminuyó el del Zn, y viceversa.

La deficiencia de Fe está relacionada a cambios en la glucólisis anaerobia, que conduce a diferencias en los productos finales ⁸⁷. El metabolismo energético puede alterarse por disminución de los niveles de Fe y Cu ⁸⁸. En el presente trabajo hubo correlación negativa ($P < 0.05$) entre glucosa y el Fe; esto es, la disminución de Fe se acompañó de aumento en el perfil sérico de glucosa y viceversa.

Por otro lado, la Glc y el Mn se correlacionaron negativamente ($P < 0.05$) en los grupos A y B, indicando que al aumentar la glucosa disminuyen los niveles de manganeso en el suero, y viceversa. El manganeso es un cofactor de muchas enzimas que participan en la gluconeogénesis a partir de aminoácidos y en la utilización misma de la glucosa ⁸⁹. Sin embargo, no es estricto que la disminución de uno provoque el descenso del otro; sino que, esa interdependencia podría ser mayor con otros minerales. Durand *et al.* ⁸⁹ propusieron que el crecimiento celular requirió cantidades traza de manganeso para la descarboxilación durante la glucólisis en el ciclo del ácido cítrico.

En el presente trabajo, cuando la condición corporal disminuyó o aumentó al avanzar el postparto, también los niveles de glucosa descendieron, sin llegar a hipoglucemia. La subalimentación reduce la disponibilidad de glucosa, debido a que se incrementa la movilización de reservas corporales ⁶⁸. Las vacas que paren con mayor condición corporal mantienen mayores concentraciones de glucosa durante la época reproductiva, aunque también la alimentación postparto puede influir la concentración de glucosa en la época reproductiva. En otro estudio, no se detectaron diferencias después del día 28 postparto ⁹⁰.

7.3.2. *Colesterol (Col)*

El colesterol es uno de los esteroides más importantes en los animales. Se le encuentra libre o en combinación con ácidos grasos. Se sintetiza a partir del acetato en el hígado y los mecanismos de retroalimentación negativa regulan la concentración de colesterol en la sangre. Sirve como precursor de ciertos compuestos y es un componente esencial de moléculas portadoras de lípidos en la sangre ⁹¹.

En el presente trabajo la concentración sérica de colesterol tuvo un promedio general de 168.3 ± 52.2 mg/dl, el cual se ubicó dentro del rango normal (50 a 240 mg/dl) reportado en la literatura ^{32, 40, 41, 42}.

El estado fisiológico de los animales, como el estrés nutricional de la lactancia, tiene relación inversa con los triglicéridos que repercuten sobre el nivel sérico de colesterol ^{45, 92}. Se ha informado una correlación positiva entre el colesterol y el balance energético ⁹³. Lo cual indica que el tejido adiposo juega un papel central en los animales lactando; durante el balance energético negativo, que se presenta en las primeras semanas de lactación, los ácidos grasos movilizados del tejido adiposo aportan energía y ácidos grasos para sostener la producción de leche, incrementando la actividad lipolítica, reduciendo la lipogénesis y la captación de triacilglicéridos ⁷⁵. La lipolisis permanece elevada durante toda la lactación; sin embargo, si el consumo alimenticio es adecuado, la lipogénesis se restablece a medida que avanza la lactación, incrementando las reservas corporales ⁷⁵.

En rumiantes subalimentados, aumenta la secreción de glucagon, en relación con la insulina; en consecuencia, se movilizan mayores cantidades de grasa ⁴⁵. Esta situación es más acentuada durante el estrés nutricional de la lactancia, lo cual puede explicar que, en el presente estudio, las vacas que amamantaron continuamente (Grupo A) tuvieran mayor nivel de colesterol que aquellas en las que se restringió el amamantamiento (Grupos B y C).

Durante el postparto de vacas, tanto lecheras como cármicas, las dietas hiperlipídicas (jabones de calcio y ácidos grasos) favorecen la secreción de LH al a través del GnRH. También, provocan aumento en la actividad de las oxidasas del sistema microsomal hepático, reduciendo los niveles circulantes de hormonas esteroideas, con lo cual disminuye la retroalimentación negativa de éstas sobre la hipófisis anterior. Es por eso que las dietas

hiperlipídicas provocan el desarrollo folicular en el postparto temprano y se asocian con niveles elevados de colesterol y 17β -estradiol en la sangre⁹⁴.

Aún cuando los estrógenos sensibilizan al cuerpo lúteo a la acción lítica de la $PgF2\alpha$, se ha observado mayor resistencia del cuerpo lúteo a la luteolisis prematura y mayor producción de progesterona en las vacas que consumen dietas hiperlipídicas⁹⁴.

Lehninger⁹⁵ propone que el colesterol se forma a partir del acetato proveniente de la remoción de las reservas corporales y del aporte dietético (forrajes). Esto puede explicar porqué en las vacas del Grupo A del presente estudio, tuvieron mayor concentración de colesterol y una correlación negativa ($P < 0.05$) entre la CC y Col, debido al metabolismo lipídico para cubrir las demandas de la lactación en las vacas que amamantaron continuamente. Así mismo, esta hipótesis se refuerza con la alta significancia en la correlación negativa ($P < 0.01$) entre Col y PV (Figura 10) que se encontró en las vacas en amamantamiento continuo (Grupo A), ya que fueron éstas en las que hubo mayor pérdida de peso y mayor nivel sérico de colesterol.

En las vacas en amamantamiento continuo (Grupo A), a partir del día 113 postparto (Figura 9) se hizo evidente un mayor incremento en la concentración de colesterol; en este grupo se obtuvo la menor tasa de preñez, comparado con los Grupos B y C. Mesaric *et al.*⁹² reportan que el nivel de colesterol sérico fue menor en animales gestantes en periodo seco, comparado con el que tuvieron entre 70 y 150 días postparto estando vacías. Esos datos concuerdan con la menor concentración de colesterol y mayor tasa de preñez en los Grupos B y C del presente estudio.

El efecto de la interacción TL*TH sobre el perfil sérico de Col, se puede atribuir al amamantamiento continuo, ya que no hay evidencias en la literatura de que el tratamiento

con norgestomet durante 9 días, o la aplicación de una simple inyección de valerato de estradiol o PMSG alteren el perfil sérico de colesterol.

Bolaños *et al.*⁴⁹, reportaron que el aumento en los niveles de colesterol durante el período postparto puede deberse a un incremento en la síntesis de lipoproteínas. Es probable que esto ocurrió en el presente trabajo, ya que el nivel de colesterol aumentó ($P < 0.01$) progresivamente al avanzar el tiempo postparto (Cuadro 5 y Figura 9).

Los resultados del presente estudio indican que al aumentar los niveles de colesterol, también se incrementaron los de nitrógeno uréico ($P < 0.01$). Se ha reportado que el colesterol y la urea muestran patrones similares de cambio en ganado *Bos Taurus* en producción de leche, debido al mayor requerimiento de energía⁴⁹, debido a la acumulación de los metabolitos que resultan del metabolismo de las reservas corporales como fuente de energía. En el presente estudio la correlación fue mayor en los subgrupos A y C, en los cuales el período de amamantamiento se prolongó hasta 180 días; mientras que en los subgrupos B1 y B2, en los cuales se destetó a los 60 días, la asociación fue menor. Lo cual sugiere que al interrumpir la lactación, con el destete precoz, desaparece la necesidad de remover reservas.

Los trabajos para establecer la relación entre el nivel sérico de colesterol y la eficiencia reproductiva no han sido concluyentes: en vacas anéstricas los niveles de colesterol fueron menores que en las que tuvieron actividad ovárica^{18,96}. En vacas alimentadas con una dieta alta en lípidos, el perfil sérico de colesterol aumentó al igual que la actividad lútea⁹⁷. Vhora *et al.*⁹³, no encontraron diferencia en el nivel de colesterol entre vacas ciclando y anéstricas. En el presente trabajo la correlación positiva ($P < 0.05$) del Col y el IPE, indica que a mayor concentración de colesterol las vacas tardan más en mostrar el primer estro postparto, aún cuando se sometieron a tratamiento para la inducción del estro; pero al contrario, se reduce el tiempo del tratamiento a la manifestación del estro (ITIE). Como ya se mencionó, la

alimentación con lípidos después del parto puede acortar el período de anestro, incrementa las concentraciones de progesterona en el ciclo estral inducido e incrementa la vida media del cuerpo lúteo ⁹⁴.

De igual forma el número de embriones recuperados fue mayor en las vacas que tuvieron más de 160 mg/dl de colesterol en el plasma después del tratamiento superovulatorio con la administración de norgestomet, valerato de estradiol y hormona foliculo estimulante (FSH) exógenos ⁹⁸. En este trabajo, y en otros, los niveles elevados de colesterol favorecieron el reinicio de la actividad ovárica postparto, siempre y cuando el estado nutricional fuera adecuado. Por el contrario, el efecto puede ser adverso si ese colesterol proviene de la movilización de reservas corporales, desencadenada por deficiencias de energía durante el postparto y la producción de leche.

El colesterol tuvo correlación positiva ($P < 0.05$) con el Mg en las vacas del Grupo A. El magnesio tiene una importante función en las reacciones bioquímicas y fisiológicas del metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos ^{84, 86}. Su absorción se afecta por factores dietéticos como ácidos orgánicos, carbohidratos, proteína y ácidos grasos de cadena larga ⁸⁶. Como se mencionó anteriormente, en condiciones de trópico, donde la alimentación se basa en forrajes que son normalmente deficientes de estos factores dietéticos, la absorción de magnesio no debe de verse muy comprometida.

El Ca es un componente esencial en varios procesos metabólicos como la biosíntesis de esteroides en los testículos, glándulas adrenales, ovarios; también está presente en las principales rutas esteroidogénicas de la placenta y en la utilización del colesterol para la conversión de pregnenolona a progesterona ⁸⁴. Tal multiplicidad de acciones del Ca pueden explicar la correlación positiva del colesterol con el Ca ($P < 0.05$), Zn ($P < 0.01$), y Cu ($P < 0.05$), principalmente en las vacas del Grupo A.

Del mismo modo, pero en las vacas del Grupo B, al disminuir el nivel de colesterol también decreció el nivel de fósforo ($P < 0.05$). El fósforo extraesquelético es principalmente orgánico e intracelular, mientras que el restante se encuentra en forma de lípidos y fosfatos inorgánicos disueltos en el suero y cuando aumenta la concentración de lípidos, se incrementa el contenido de fósforo⁴⁵. Los fosfolípidos representan una forma más de transporte de los ácidos grasos en el organismo⁹⁹. Por si fuera poco, la participación esencial del fósforo en el metabolismo de los fosfolípidos y en la síntesis de AMPc, resulta pieza clave para entender los efectos adversos de la deficiencia de fósforo sobre la reproducción⁸⁴.

7.3.3. Nitrógeno Uréico (NUS)

La urea es el producto principal del catabolismo proteico en el hígado. El nitrógeno uréico representa aproximadamente la mitad del nitrógeno no proteico de la sangre (NUS). En condiciones normales, suele presentarse un nivel bajo del NUS en animales que estén sufriendo de inanición o consumen una dieta deficiente en proteína^{32, 42}. Asimismo, se ha reportado que dietas altas en proteína elevan el nitrógeno uréico en sangre¹⁰⁰. Bolaños *et al.*⁴⁹, proponen que la urea sanguínea puede ser usada para monitorear el consumo de proteína y energía, aunque en condiciones de trópico esto puede ser cuestionable.

El promedio general de nitrógeno uréico (11.4 ± 3.5 mg/dl) en este trabajo estuvo dentro del rango (6.0 - 30 mg/dl) normal reportado en la literatura^{32, 41, 42}. La correlación positiva ($r = 0.5007$, $P < 0.01$) indica que el nivel de NUS aumentó conforme avanzó el tiempo postparto. Sin embargo, se apreció una disminución en el NUS en los primeros 78 días postparto (Cuadro 5), recuperándose al día 141. Bouda *et al.*⁷⁶, reportaron que la urea plasmática en vacas de doble propósito en el trópico, disminuyó de 20 - 60 % a los 2 meses postparto, para recuperarse hacia los 3, 4 y 7 meses postparto.

En el presente estudio el perfil de nitrógeno uréico (Figura 11) fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en las vacas en amamantamiento continuo (Grupo A), tal vez las demandas de nutrientes exigidas para la producción de leche provocaron incremento en el metabolismo para cubrir las deficiencias de energía.

La interacción TL*TH afectó el NUS; sin embargo, este hecho no puede atribuirse a algo específico. La caída en los niveles de NUS coincidió con el tiempo al que se aplicó el tratamiento hormonal (60 días), pero no existen evidencias en la literatura que corroboren que los tratamientos hormonales aplicados alteran el metabolismo proteínico; por otro lado, la ausencia de efecto individual significativo ($P > 0.05$) del TH confirma esta suposición y el efecto se atribuye al tipo de lactancia.

Aunque quizá la síntesis del opioide peptídico producido en el encéfalo (β -endorfina), responsable de la inhibición de la secreción de GnRH por el hipotálamo en vacas lactando²⁸, produzca una elevación en el nivel de urea en sangre a consecuencia del metabolismo proteínico; misma que se observó en el mayor nivel de NUS en las vacas del subgrupo A1. Entonces, al haber una estimulación hormonal exógena para suprimir el anestro, se interrumpe la producción de este pequeño péptido, por lo que se observa una caída en el nivel sérico de NUS.

Regularmente las dietas bajas en proteína y energía, también lo son en fósforo⁶¹. En un experimento, las vacas que consumieron una dieta con 23 % de proteína cruda, tuvieron altas concentraciones de amoníaco en sangre y urea y fósforo en plasma¹⁰¹. En las vacas del Grupo B del presente trabajo el NUS y el P se correlacionaron positivamente ($P < 0.01$).

Se encontró correlación negativa ($P < 0.05$) entre el NUS y el Mg en el Grupo A. Se ha reportado que la concentración de Mg en la secreción uterina en los días 5 y 15 del ciclo

estral fue menor en vacas que consumieron dietas con 23 % de proteína cruda que las alimentadas con 12 % ¹⁰¹.

Se ha reportado correlación del manganeso con la glucosa, debido a su participación como cofactor en la gluconeogénesis a partir de aminoácidos ⁸⁹. El NUS se correlacionó negativamente con el Fe y Mn y por el contrario, el NUS se correlacionó positivamente ($P < 0.01$) con el Cu en el Grupo A.

Durante la lactación, cuando la dieta no cubre las necesidades, el animal entra en balance negativo, utilizando las reservas de otros tejidos como sustrato para la síntesis de leche ⁸³.

Algunos estudios han demostrado la importancia de las reservas de proteína lábil en el balance de nitrógeno, ya que proporciona aminoácidos para la proteína de la leche y glucosa ⁷⁴. En el presente trabajo, el NUS y la CC se correlacionaron positivamente en los Grupos B ($P < 0.01$) y C ($P < 0.05$). Tanto la CC como el NUS disminuyeron al inicio del postparto en todos los grupos del presente trabajo, lo cual probablemente se debió a las exigencias nutricionales para cubrir las demandas de lactación ⁷⁴.

En todas las vacas del experimento, se observó elevación en el NUS después del día 78 postparto, siendo más notorio en las vacas en amamantamiento continuo (Grupo A). En cambio, la CC solo aumentó en las vacas que estuvieron en amamantamiento restringido y que destetaron a 60 días (Grupo B); mientras que las que amamantaron continuamente y destetaron hasta 180 días continuó bajando. El mayor valor de nitrógeno uréico, en las vacas del Grupo A, sugiere una continua remoción de reservas corporales y que los animales del Grupo B dejaron de perder CC desde el día 64, que coincide con el destete.

El papel de las proteínas en la reproducción del ganado es controversial; dietas con alto contenido en proteína se han asociado con baja fertilidad, y, cuando el aporte de proteína es bajo, las fallas reproductivas se manifiestan como débil expresión del estro, anestro,

pudiéndose relacionar con el síndrome de la vaca repetidora ^{66,101}. Las dietas bajas en proteína también se han asociado con la deficiencia de aminoácidos necesarios para la síntesis de gonadotropinas (LH) y factores liberadores hipotalámicos (GnRH), así como con fallas reproductivas ^{93, 102, 103}. Al respecto Troncoso ⁶⁶ sugiere que, desde el punto de vista teleológico, para la vaca es más importante la producción de leche que la reproducción misma y por eso el efecto negativo de las raciones pobres en proteína cruda (<13 %) sobre la fertilidad.

En las vacas lactantes, en pastoreo, bajo las condiciones tropicales, el problema puede ser mas serio. Los forrajes son pobres en proteína y energía digestible, impidiendo la actividad del sistema reproductor durante la lactancia, en tanto los nutrientes no sean suficientes para todas las funciones corporales de supervivencia ⁶⁶.

Al parecer, los productos del metabolismo proteico alteran el medio uterino o la función de los órganos reproductivos en los rumiantes. La composición iónica (Ca, Mg, P, K, Zn) de las secreciones del tracto reproductivo afecta la viabilidad del espermatozoide, del óvulo y del embrión ^{101, 102, 104, 105}.

Bolaños *et al.* ⁴⁹ suponen que los niveles bajos de urea se deben a una mejor eficiencia alimenticia en aquellas vacas que reinician la actividad ovárica. Cuando el contenido de proteína en la dieta es alto, ocurre aumento en la concentración sanguínea de nitrógeno uréico; concentraciones de 20 mg/dl pueden provocar disminución en la fertilidad del ganado ¹⁰³ y disfunción hormonal ¹⁰⁶. En el presente trabajo no se encontró correlación significativa ($P>0.05$) entre el NUS y los parámetros reproductivos estudiados; por tal razón, es probable que la medición de este metabolito no tenga utilidad práctica al evaluar la calidad proteínica de la dieta.

7.3.4. Calcio (Ca)

La homeostasis del Ca es un mecanismo especializado muy eficiente que asegura que los niveles de Ca no se alteren considerablemente por efecto de la lactancia. Los huesos se consideran el principal reservorio de Ca, ya que puede ser removido o fijado de acuerdo con las exigencias del medio interno; también, se puede aumentar la absorción intestinal y la reabsorción y excreción renales. Esa regulación está coordinada por mecanismos endócrinos, que incluyen a la hormona paratiroidea, la calcitonina y la vitamina D ¹⁰⁷. Entre sus múltiples funciones el calcio es necesario para la secreción de numerosas hormonas y factores liberadores hipotalámicos ⁹⁹.

En el presente trabajo, el promedio general de Ca (93.9 ± 8.55 ppm) se consideró dentro del rango normal reportado en la literatura ^{39, 40, 41, 43, 44}. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre grupos de lactancia. De igual manera, Bolaños ⁴⁹ *et al.*, no observaron cambios entre sus grupos experimentales. También, son muy similares a niveles de Ca de 105.1 ± 11.6 ppm en vacas F1 (Holstein x Brahman) en la misma zona donde se realizó el presente estudio informados por Candanosa *et al.* ¹⁰⁸. Sin embargo, los valores de calcio circulantes pueden ser mayores en vacas lecheras en lactación que las secas ⁴⁵, la diferencia con los resultados del presente estudio puede deberse a la raza de los animales y al tipo de alimentación.

Se ha informado de una baja en la concentración sérica de Ca en el período que precedió al primer ciclo estral, que puede estar asociado con la producción de estrógenos durante el crecimiento folicular, y en consecuencia, se inhibió la resorción ósea del calcio ⁴⁹. También Serrano *et al.* ¹⁰⁹, reportaron la disminución del nivel de Ca el día 15 del ciclo estral; sin embargo, la variación de los niveles de calcio a través del presente estudio nunca estuvieron fuera del parámetro normal (Figura 12).

Guyton ⁷⁵ dice, que cuando hay secreción de estrógenos por los ovarios hay una disminución de la acción osteoblástica de los huesos, disminución de la matriz ósea y disminución del depósito de Ca y P. En este trabajo el tratamiento hormonal disminuyó ($P>0.05$) el perfil sérico de calcio a 94.4 ± 0.57 ppm en las vacas tratadas con Norgestomet + valerato de estradiol + PMSG. En las secreciones uterinas, la progesterona plasmática se ha correlacionada positivamente con el Mg y Ca, ya que durante la fase lútea el Ca, P y Mg se elevaron ¹⁰¹.

El perfil sérico de Calcio disminuyó, al tiempo del tratamiento hormonal (64 d), lo cual fue más notorio en las vacas que recibieron PMSG cuya recuperación ocurrió hasta el día 114 postparto, mientras que las que no recibieron PMSG la recuperación ocurrió por el día 92 postparto (Figura 21).

El contenido de Ca o P en la dieta puede ocasionar alteraciones en la utilización de cualquiera de ellos y la de otros minerales; por ejemplo, cuando se añade un exceso de Ca en la dieta puede resultar en deficiencia de elementos tales como P, Mg, Fe, I, Zn y Mn ²⁴.

En este trabajo el Ca y el Mg se correlacionaron positivamente en el Grupo C. La absorción de magnesio depende de la relación entre iones de Ca y Mg en el intestino.

El Zn interactúa en los procesos de absorción con el Ca ²⁴, por ello el calcio y el zinc tuvieron una correlación positiva altamente significativa ($P<0.01$) en el Grupo A del presente estudio.

Se ha establecido que el Ca juega un papel importante en la sensibilización del tracto reproductor, para la acción de hormonas y con ello la tasa de fertilidad se incrementa ¹¹⁰. Tal vez por eso, los niveles de calcio fueron menores en vacas repetidoras ¹¹⁰. En el presente trabajo, el Ca se correlacionó negativamente ($P<0.05$) con el IPE, lo cual indica que las vacas con mayor nivel de Ca sérico, menor es el tiempo al que muestran el primer estro postparto.

7.3.5. Fósforo (P)

La eficiencia en la absorción de P puede estar influenciada por el nivel de P dietario ⁹⁹. Generalmente se acepta que en las regiones tropicales los suelos y plantas son pobres en P; muchas especies de gramíneas, en las primeras etapas de crecimiento, contienen más del 0.3 % de P, el cual es disponible solo por cortos períodos. Los forrajes maduros contienen menos del 0.15 % de P la mayor parte del año; la presencia de Fe y Al en el suelo forman complejos insolubles acentuando la deficiencia de P en las plantas ²⁴. Cuando el nivel de P dietario es bajo, la eficiencia de absorción de P se aumenta ¹¹¹, por lo que la concentración de fósforo en el plasma es baja y el reciclaje de fósforo en la saliva decrece ⁸⁷. La primera evidencia de una deficiencia de fósforo es la reducción de fósforo inorgánico en plasma por debajo de los niveles normales ⁹⁹.

En el presente trabajo el promedio general de fósforo sérico fue de 42.6 ± 13.63 ppm, sin encontrar diferencias entre los grupos; sin embargo, ese nivel se considera bajo, aún cuando se encuentra dentro del rango normal ^{39, 40, 41, 43, 44}. También, Bolaños *et al.* ⁴⁹, encontraron que las concentraciones de fósforo se mantuvieron bajas y ocasionalmente descendieron a niveles críticos. En otro estudio ¹¹¹, los niveles de fósforo promediaron 52.4 ± 7.3 ppm en vacas F1 (Ho x Ce) en la misma zona donde se realizó el presente estudio.

En novillas Droughtmaster que pastaron en praderas tropicales la concentración de P plasmático decreció al avanzar el tiempo postparto, indicando un balance negativo de fósforo, siendo más severo durante la lactación que durante la preñez ¹¹². En el presente trabajo, el tiempo postparto y el nivel de P (Cuadro 5) tuvieron correlación negativa no significativa ($P > 0.05$); sin embargo, se observó la tendencia a mayor valor al inicio del

postparto (54.7 ± 5.98 ppm, día 34 postparto) y disminuyó posteriormente (34.9 ± 3.68 ppm, día 78), (Cuadro 5).

Por otro lado, se conoce la influencia de las deficiencias de fósforo en las tasas de anestro y fertilidad. Umesh *et al.*¹⁸ reportaron menores valores de fósforo sérico en vacas anéstricas, comparado con el nivel de las que ciclaron. En este aspecto Rupde *et al.*¹¹⁰, resaltaron la necesidad de ciertos niveles de P para la adecuada secreción de estrógenos y también encontraron niveles de P significativamente menores en las vacas repetidoras. La deficiencia severa de P retarda el inicio de la pubertad y la actividad ovárica postparto; mientras que las deficiencias moderadas se han asociado con pobres tasas de preñez⁶¹.

En el presente trabajo no fue posible establecer una relación entre los niveles séricos de fósforo con los parámetros reproductivos, lo cual pudo deberse a que no se detectó una deficiencia severa, o bien, a que el número de muestras fue insuficiente.

7.3.6. Magnesio (Mg)

Las necesidades mínimas de Mg generalmente se cubren por el consumo de pastos o con dietas que contienen 0.10 % (1000 ppm) de Mg²⁴. En condiciones normales, las concentraciones de magnesio en suero resultan del balance entre absorción intestinal y excreción renal, aunque en situaciones de hipomagnesemia, los huesos representan una fuente de Mg para mantener la homeostasis⁴⁵. En el presente experimento el promedio de Mg fue de 23.6 ± 3.6 ppm, considerado dentro del rango normal^{39, 40, 43, 44}.

En el presente trabajo no se encontraron efectos significativos ($P > 0.05$) del tipo de lactancia, tratamiento hormonal, ni de sus interacciones, sobre los niveles séricos de Mg. Viana y Zometa⁸⁵, afirman que las deficiencias de Mg son improbables, ya que se requiere

en cantidades de 0.05 a 0.1 % de la materia seca de la dieta; estos mismos autores observaron en vacas en pastoreo que los niveles de Mg en el plasma aumentaron durante la gestación hasta las 3-4 semanas antes del parto y hubo una reducción 3 ó 4 semanas después del parto. En el presente experimento se observó disminución en los niveles desde el parto hasta el día 78 postparto, lo cual se puede atribuir a la producción de leche, independientemente del tipo de lactancia.

Las vacas, durante el periodo de lactancia, pierden magnesio en la leche a un ritmo de hasta 3 g/día en altas productoras, es por ello que los valores disminuidos de Mg en plasma pueden ser problema solo en vacas altas productoras ⁴⁵. La correlación negativa altamente significativa ($P < 0.01$) encontrada entre los valores séricos de Mg con los días postparto indica una tendencia por parte de este elemento a disminuir conforme avanzó el postparto (Figura 14).

En vacas de cría en condiciones tropicales, se determinó hipomagnesemia solo en el 12 % de los casos de animales que estuvieron sin complementación, retornando los valores al rango normal cuando se restauró la suplementación; por esta razón, se considera que en los bovinos en el trópico no existen deficiencias de Mg ¹¹³. Otros autores ¹¹¹, trabajando con vacas F1 (Ho x Ce) en las mismas condiciones que el presente trabajo, reportan los niveles plasmáticos de Mg en un promedio de 23.6 ± 3.9 ppm.

Por otro lado, el Zn interactúa en los procesos de absorción con el Ca, Cu, Fe y Cd ²⁴. Sin embargo, en el presente trabajo la correlación solo fue positiva ($P < 0.05$) entre Mg y Zn, pero no se encontró correlación significativa ($P > 0.05$) entre los perfiles de magnesio y los parámetros reproductivos. En un estudio ¹⁸, se observaron valores menores de magnesio sérico en las vacas anéstricas, comparado con las que ciclaron. Corro ¹², mencionó que el mecanismo enzimático de la involución uterina es dependiente del magnesio, la cual es un

requisito para la reanudación de la actividad ovárica. Niveles bajos de Mg sérico se han asociado con infertilidad, ya que durante la fase lútea el Ca, P y Mg se elevan, y la relación progesterona-estrógeno puede influenciar el transporte mineral hacia el útero ¹⁰¹.

7.3.7. Hierro (Fe)

En el presente trabajo el promedio general de Fe fue de 2.6 ± 1.48 ppm, el cual se ubicó ligeramente por arriba del límite máximo del rango considerado normal ^{40, 43, 44}. Los suelos ácidos del trópico favorecen la disponibilidad de hierro y en consecuencia su absorción al consumir el forraje ¹¹⁴; es por ello que la deficiencia de Fe en los animales en pastoreo es muy rara. McDowell *et al.* ¹¹⁴, recomienda 100 ppm de hierro en pastos. En el presente estudio, la concentración de hierro en los forrajes promedió 191.22 ppm; además, durante el experimento se suministró sal mineralizada a una concentración de 0.43 % = 4300 ppm. Los requerimientos para bovinos de carne fluctúan entre 10 y 30 ppm y para los lecheros entre 100 y 150 ppm, por lo que, en el presente trabajo se puede afirmar que hubo un exceso de Fe en la dieta.

McDowell *et al.* ¹¹⁴ propusieron que en un período de amamantamiento anormalmente largo se pueden encontrar deficiencias de hierro. En este experimento el TL tuvo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre los niveles séricos de Fe; en los grupos A y C, con destete a 180 días, el nivel sérico fue menor que aquellas en amamantamiento restringido y que destetaron a 60 días. Esto indica que el amamantamiento prolongado disminuyó los niveles séricos de hierro, y es probable que este tipo de animales, si no reciben complementación con hierro, podrían sufrir deficiencias.

En el presente estudio, los niveles séricos de hierro disminuyeron conforme avanzó el tiempo postparto (Correlación negativa, $P < 0.01$), situación que pudo deberse a que la parición ocurrió durante la época de sequía (Marzo a Mayo) y la altura del pasto es menor y

es común que la ingesta lleve contaminantes del suelo; por el contrario, al avanzar el postparto se arribó a la época de lluvias, mayor crecimiento de pastos y las posibilidades de consumir tierra son menores (Figura 15). Otra posibilidad, es que se sabe que durante la época de secas los forrajes contienen una mayor concentración de minerales y durante la época de lluvias, en que el suelo sufre mayor lixiviación, la concentración mineral es menor.

El efecto de la interacción TL*TH sobre los niveles de Fe, es atribuible específicamente al tipo de lactancia, puesto que en el subgrupo B2 se encontró la mayor concentración (3.1 ± 0.2 ppm) y en el subgrupo A1 la menor (2.4 ± 0.1 ppm). Así mismo, no hay evidencia en la literatura para sostener que el tratamiento con progestágenos, estradiol y/o PMSG alteren los niveles sanguíneos de Fe.

En el presente trabajo, el Zn se correlación positivamente ($P < 0.01$) con el Fe. Existen antecedentes de que el Zn interactúa en los procesos de absorción con el Fe²⁴. Estos resultados coinciden con los reportados por Sharma *et al.*⁸⁸, en vacas ciclando normalmente; por el contrario, en el trabajo reportado por Jain¹¹⁵, la correlación fue negativa.

En el presente estudio, se obtuvo correlación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) entre el Fe y el Mn en el grupo A. El Mn, al igual que el hierro, no se consideran un factor limitante en las regiones tropicales. Sin embargo, se encontró correlación negativa ($P < 0.05$) entre el Fe y el Cu para los grupos A y B. En pasturas tropicales, el exceso de Fe se ha asociado con problemas en el metabolismo del cobre²⁴. La absorción del hierro y su utilización es dependiente de la actividad de una enzima que contiene Cu, la ferroxidasa (ceruloplasmina). En casos de deficiencia de Cu, los niveles de ferroxidasa se reducen, situación que interfiere en la utilización de Fe; en consecuencia, se manifiesta como una deficiencia secundaria; también, el consumo excesivo de los minerales: Co, Zn, Cu y Mn, puede interferir la absorción de Fe por competencia con los sitios de absorción en el

intestino. Salvo circunstancias excepcionales, el Fe no representa problema en animales en pastoreo ¹¹⁶.

La relación entre el nivel de hierro en la dieta, suero y eficiencia reproductiva de las vacas ha sido discutida en otros estudios. Sharma *et al.* ⁸⁸, sostienen que el metabolismo energético se altera cuando los niveles de Fe y Cu son bajos, alterando la regulación de receptores ováricos para los estrógenos, por lo que la actividad reproductiva se trastorna y hay cese de la actividad cíclica.

Se han reportado niveles séricos de Fe mayores en vacas ciclando normalmente, que en anéstricas y la deficiencia de Fe causó anemia y, de manera secundaria, inanición que se reflejó como anestro en las vacas ⁹³. En otros estudios ¹¹⁰, no hubo variación en la concentración de hierro en vacas que ciclaron y las que no lo hicieron.

Jain ¹¹⁵, reportó bajos niveles de Fe el día del servicio en vacas repetidoras en comparación con los demás días del ciclo y no encontró diferencias entre vacas anéstricas y las que ciclaron. En el presente trabajo, no se encontró ninguna asociación significativa entre el nivel sérico de hierro y los parámetros reproductivos.

7.3.8. Zinc (Zn)

La mayoría de los autores coinciden en que el organismo no tiene depósitos movilizables de Zn capaces de cubrir grandes deficiencias, por lo que requiere de una continua adición en la dieta. Los niveles de Zn se regulan por absorción en el intestino delgado, la cual se incrementa al disminuir su la concentración en la dieta ¹¹⁷. El promedio general de Zn (3.2 ± 2.9) en el presente trabajo fue superior al nivel normal reportado en la literatura ^{43, 44}. El zinc se considera un elemento de baja o nula toxicidad para los animales; no obstante, cuando el consumo excede los requerimientos puede ser antagonista de otros

minerales como Cu, Fe o Ca ¹²⁰. Por el contrario, se han reportado niveles bajos de Zn en suelos, plantas y tejidos animales en las regiones tropicales de todo el mundo ²⁴. Candanosa *et al.* ¹⁰⁸, en vacas F1 (Holstein x Cebú), en la misma región en la que se realizó el presente trabajo, reportan un promedio de 0.960 ± 0.11 ppm de Zn.

Cuando se quiere provocar deficiencias de Zn en condiciones de campo, deben ofrecerse raciones con menos de 50 ppm; los niveles en plasma deberían estar por debajo de 0.4 ppm ¹¹⁴. El NRC recomienda para el bovino 10 a 50 ppm de Zn; niveles mayores de zinc pueden ocasionar deficiencia de otros elementos esenciales. En el presente estudio, el complemento mineral ofrecido proporcionó 80 ppm y los forrajes 21.25 ppm de Zn. Por lo que se consideró que la ingesta de este elemento fue alta y se reflejó en el perfil sérico.

En el presente trabajo el tipo de lactancia no afectó ($P > 0.05$) el perfil sérico de Zn. Sin embargo, en las vacas tratadas con Norgestomet + Valerato de Estradiol + PMSG, el nivel de Zn (3.8 ± 0.10 ppm) fue significativamente mayor ($P < 0.05$), que las tratadas solo con PMSG (3.5 ± 0.11 ppm) (Figura 23). Se ha reportado que el Zinc tiene importantes funciones en la producción, almacenamiento y secreción hormonal, así como también en los sitios receptores ²⁴. En vacas Holstein, se han reportado niveles séricos de Zn significativamente mayores en el día 1 del ciclo estral en comparación con los del día 10 ¹⁰⁹.

Los niveles de Zn en suero decrecieron conforme avanzó el tiempo postparto ($r = -0.3520$; $P < 0.01$). En la Figura 16, que esquematiza los promedios de zinc por tipo de lactancia a través del periodo postparto, estos se mantuvieron por arriba del parámetro normal ^{43, 44}. En dos de los muestreos (días 34 y 127 postparto) los valores obtenidos fueron superiores a la media general, lo cual puede atribuirse a contaminación de la muestra, previo al envío al laboratorio.

Aunque las implicaciones del Zn en la reproducción han sido bien discutidas en diversas publicaciones, en el presente trabajo no se encontró ninguna correlación entre el nivel sérico de Zn y los parámetros reproductivos estudiados. Sin embargo, se ha visto que el nivel sérico de Zn puede ser indicativo del estatus gonadal ¹¹⁰. Asimismo, las deficiencias de Zn se han asociado con infertilidad ^{61, 84, 110, 115}. Sharma *et al.* ⁸⁸, reportaron valores de Zn significativamente ($p < 0.05$) menores en novillas que ciclaron que en las infértiles.

7.3.9. Manganese (Mn)

Existe controversia acerca de que la deficiencia de manganeso sea un problema serio en animales alimentados en pastoreo ¹¹⁴. La suplementación de Mn, al igual que la de Fe, para los rumiantes en pastoreo requiere menos atención que la de otros microminerales como Co, Cu, I, Se y Zn ²⁴.

Al igual que en el Fe y Zn, en el presente trabajo, el promedio de Mn estuvo por encima del límite máximo del rango normal ^{43, 44} (Figura 17). No hubo efectos significativos debidos al tipo de lactancia, tratamiento hormonal o sus interacciones. Sin embargo, el tiempo postparto se correlacionó negativamente ($P < 0.05$) con el perfil de Mn.

La concentración de Mn en la dieta es una de las formas más seguras de detectar desbalances, así como los niveles de otros elementos que interactúan con el Mn. Los requerimientos mínimos de Mn para ganado bovino están entre 20 y 40 ppm ²⁴. La concentración de Mn en los pastos donde se realizó el presente estudio tuvieron en promedio 13.61 ppm, que está debajo del nivel recomendado; sin embargo, además recibieron una premezcla mineral que contenía 200 ppm, que superó lo recomendado.

Algunos autores ¹¹⁴ aseguran que la absorción del manganeso ingerido es baja y oscila entre 3 y 4 %. Esos mismos autores ¹¹⁴, proponen que las reservas corporales de Mn son

bajas y no acumulables en el organismo, de tal manera que la excreción es similar a la ingestión. De acuerdo con ello se supone que, los animales del presente trabajo, pudieron absorber de 6 a 8 ppm, lo que equivale a 5 veces más el nivel recomendado, lo cual concuerda con el valor promedio de Mn (0.1 ± 0.07 ppm) en el suero de las vacas de este experimento, que es cinco veces mayor al valor normal (0.015 - 0.025 ppm)¹¹⁴.

El Mn se correlacionó negativamente ($P < 0.05$) con el Zn en los Grupos A y C, así como con el peso vivo ($P < 0.01$). En trabajos previos, se ha establecido una interdependencia entre los niveles séricos de Zn y Mn¹¹⁴.

Los procesos reproductivos son muy sensibles a la ausencia de Mn¹¹⁴. Los valores de Mn más altos se han reportado en vacas normales ciclando⁸⁸, mientras que los menores se han visto en vacas repetidoras¹¹⁰. Las deficiencias de Mn están asociadas con prolongada inactividad sexual (anestro), baja tasa de concepción, débil expresión del estro (estro silencioso), ciclos estrales irregulares, baja fertilidad a primer servicio, prolongación del tiempo de gestación y reabsorción embrionaria^{61, 114, 115}. En el presente trabajo no se encontró correlación significativa entre el nivel sérico de manganeso y los parámetros reproductivos, lo cual pudo deberse a que los animales utilizados no tuvieron deficiencia.

7.3.10. Cobre (Cu)

Los niveles de Cu en sangre, de animales que reciben dietas adecuadas, varían entre 0.5 a 1.2 mg/l^{43, 44}. En el presente trabajo el promedio general de Cu fue de 0.6 ± 0.3 ppm. El Mo, S, Zn, Cd, Fe, así como la proteína, dependiendo de su concentración en la pastura, pueden reducir la absorción de Cu^{88, 118}. Los suelos ácidos o alcalinos, así como terrenos muy drenados o pasturas de riego, tienen niveles altos de esos elementos⁸⁸. El

pasto fresco, en comparación con el heno o pasto deshidratado, es poco eficiente para aumentar el depósito de Cu en el organismo ¹¹⁹.

Después del P, la deficiencia de Cu se considera la limitante de mayor importancia para los animales en pastoreo en la mayoría de las regiones tropicales ²⁴. La concentración de cobre en la sangre está influenciada por el nivel de cobre de la dieta y por la relación entre el cobre y otros componentes de la misma (Mo, Zn, sulfato inorgánico y Fe). Según McDowell *et al.* ²⁴, las deficiencias de Cu pueden originarse por: altos niveles de Mo en la dieta (>20 ppm), niveles bajos de Cu conjuntamente con un nivel alto de Mo, deficiencia de Cu (< 5 ppm), nivel normal de Cu y bajo en Mo y con un nivel alto de proteína soluble en pastos frescos ²⁴. La concentración de cobre en las pasturas que consumieron los animales del presente estudio, promedió 8 ppm; mientras que la sal mineral ofrecida aportó 11.94 ppm. Asimismo, altas ingestiones de zinc reducen la absorción de cobre ¹¹⁹.

El tipo de lactancia afectó ($P < 0.05$) el perfil sérico de Cu; el Grupo B estuvo dentro del rango normal y fue significativamente mayor (0.7 ± 0.04 ppm) a los Grupos A y C (0.5 ± 0.03 ppm y 0.5 ± 0.03 ppm, respectivamente). De acuerdo con los trabajos de Coelho da Silva y Chávez ¹¹⁹, los niveles de cobre en sangre se pueden alterar en animales gestantes.

El calostro es rico en cobre y en la mayoría de los casos hay una disminución progresiva en la concentración de Cu en la leche conforme avanza el período de lactación. En el presente trabajo los niveles de cobre en el suero aumentaron en relación directa ($r = 0.4916$; $P < 0.01$) con el tiempo postparto (Figura 20), aún cuando se mantuvieron dentro del parámetro normal ^{43, 44}. Las vacas en amamantamiento restringido con destete a 60 días (Grupo B), alcanzaron y terminaron con el mayor nivel ($P < 0.05$) en comparación con las

vacas que destetaron a 180 días (Grupos A y C). Estos resultados sugieren que el cese de la producción de leche (destete precoz) promovió la recuperación de los niveles séricos de Cu.

Por otro lado, el Cu disminuyó en relación inversa ($r = -0.5662$, $P < 0.01$) al Mn. Estos resultados concuerdan con los de Adame *et al.*¹¹³, quienes informan que en vacas de cría en el trópico, se encontró hipocupremia en el 76 % de los animales que no recibieron complemento; mientras que solo se presentó en el 24 % de los casos cuando fueron complementados. Candanosa *et al.*¹⁰⁸ reportan 0.624 ± 0.04 ppm de Cu en vacas F1 (Holstein x Cebú) en la misma zona donde se realizó el presente trabajo.

La deficiencia de cobre en los bovinos se manifiesta por: inactividad ovárica, ovulación retardada y disminución en el índice de concepción. En muchos casos la fertilización puede ser normal, pero ocurre la muerte embrionaria, muerte fetal, reabsorción fetal o fetos momificados^{61, 120}. Asimismo, Serrano *et al.*¹⁰⁹ observaron que los niveles séricos de Cu fueron mayores el día 15 del ciclo estral y menores el día 20.

Lo anterior puede tener relación con lo informado por Sharma *et al.*⁸⁸, en animales ciclando normalmente, ya que la producción de FSH se incrementó cuando hubo altas concentraciones de Cu circulante y por el contrario la secreción de LH disminuyó. Igualmente, se han determinado valores de Cu más elevados en vacas que ciclan que en las anéstricas^{18, 93, 115}; también, en vacas repetidoras las concentraciones séricas de Cu fueron significativamente menores¹¹⁰. En el presente trabajo no se encontró correlación entre el nivel sérico de cobre y los intervalos del parto-primer estro y parto-concepción; sin embargo, la mayor concentración de Cu correspondió a vacas con alto porcentaje de preñez (Grupo B).

6.3.11. Selenio (Se)

En el presente trabajo las concentraciones séricas de Se se consideraron como no detectables, lo cual pudo estar relacionado con la técnica utilizada en su determinación, a pesar de que se considera como la prueba mas sensible para la determinación de los valores de selenio en suero. Al no haber cantidades detectables en el suero, se puede considerar que las vacas utilizadas en el presente estudio estuvieron por debajo de los niveles normales, indicando una deficiencia de Se.

Los requerimientos de Se fluctúan entre 0.05 y 0.3 ppm²⁴, pero dependiendo de la forma química del Se, la concentración de minerales en el animal, y otros factores como la Vitamina E, azufre, lípidos, proteínas, aminoácidos, Cu, Hg, As y Cd. También, las cantidades de Se en los forrajes que consumieron los animales durante la presente investigación, fueron no detectables. El complemento de sales mineralizadas que se ofreció a los animales no contenía Se en su fórmula. Se ha reportado que, en condiciones normales, los forrajes tropicales son deficientes en selenio²⁴.

7.3.12. Cobalto (Co)

La concentración de cobalto en suero se encontró en niveles fuera de los detectables por la técnica utilizada en este trabajo; la técnica que se empleó aquí, no fue la apropiada; por lo que el hecho, de no haberlo detectado, no implica que los animales tuvieran deficiencia de Co; sin embargo, se conoce que la concentración de Co en los forrajes tropicales es deficiente²⁴, mas no se puede afirmar que esto ocurrió en las vacas del presente estudio. Debido a esto, se propone la determinación del Co en la dieta y/o contenido ruminal, para futuros trabajos.

Los requerimientos de Co fluctúan entre 0.1 y 0.2 ppm. La deficiencia de Co ocurre más frecuentemente en animales en pastoreo en la mayoría de los países tropicales. Pero también, las deficiencias más severas en rumiantes pueden ocurrir en buenos pastos ²⁴.

VIII.- Literatura Citada

1. Fallas MRA. Estudios sobre la involución uterina y el reinicio de la actividad ovárica después del parto en vacas F1 (Holstein x Cebú) en el trópico húmedo de México (Tesis de Doctorado) México (D.F.) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1987.
2. Moore CP, Campos da Rocha CM. Reproductive Performance of Gyr Cows: The Effect of Weaning Age of Calves and Postpartum Energy Intake. *Journal of Animal Science* (1983) 57 (4) 807-814.
3. Ramírez PG, Basurto CH, Martínez AA. Efecto del GnRH combinado con destete temporal y definitivo sobre el anestro postparto en vacas cebú en el trópico húmedo. *Veterinaria México* (1996) 27 () 265-269.
4. Anta JE, Porras AA, Zarco QL, Galina CS. Análisis de la información publicada en México sobre la eficiencia reproductiva de los bovinos. II. Parámetros Reproductivos. *Veterinaria México* (1989) 20 () 11-18.
5. Basurto CH. Relación entre algunas variables ambientales con la producción de leche y la eficiencia reproductiva en vacas F1 (Holstein x Indobrasil) en el trópico húmedo de México (Tesis de Maestría) México (D.F.) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, 1993.
6. Galina CS, Arthur GH. Review of cattle reproduction in the tropics. Part 3. Puerperium. *Animal Breeding Abstracts* (1989) 57 () 889-910.
7. Hube JT. Dietary management of Dairy Cattle. In: Howard. *Current Veterinary Therapy*. 2nd Ed. Philadelphia: Saunders, 1993: 260-272.

8. Clark RG, Millar KR. Cobalt. Chap. 4. En: Grace ND. The mineral Requirements of grazing Ruminants. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 27-37.
9. Segura CVM, Rodríguez ROL, Segura CJC. Factores que modifican la fertilidad en hembras cebú y encastadas con europeo, bajo un programa de inseminación en el trópico. *Técnica Pecuaria en México* (1989) 27 () 129-136.
10. Buttler WR, Simith RD. Interrelations between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* (1989) 72 () 767-783.
11. Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Chapin LT, Fogwell RL. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* (1988) 71 () 1063-1072.
12. Corro MMD. Efecto de la suplementación mineral preparto sobre el comportamiento reproductivo y productivo postparto en vacas Holstein x Cebú en el trópico húmedo (Tesis de Maestría). México (D.F.) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. 1992.
13. McSweeney CS, Kennedy PM, D'Ochio MJ, Fitzpatrick LA, Reid D, Entwistle KW. Reducing postpartum anoestrus interval in first calf *Bos indicus* crossbred beef heifers. II. Responses to weaning and supplementation. *Australian Journal of Agricultural Research* (1993) 44 () 1079-1092.
14. Randel RD. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science* (1990) 68 () 853-862.
15. Dutta DC, Barman NN, Baruah RN. Blood biochemical profile and microbial spectrum in repeat breeder cows. *Indian Veterinary Journal* (1991) 68 () 435-438.
16. Hafez ESE. *Reproduction in Farm Animals*. 4th Edition. Philadelphia: Lea & Febiger, 1980.

17. Sonwane SD, Pargaonkar DR, Bakshi SA, Navtake RM, Thakre NV. Studies on serum cholesterol levels of anoestrus cows treated with GnRH-analogue (Receptal). *Int Juor Anim Rep* (1994) 15 (2) 122-124
18. Umesh KR, Sudhir ChRV, Seshagiri RH, Eswar RC, Suresh RV, Narasa RGV. Studies on certain blood constituents of rural buffaloes during cyclic and postpartum anoestrus periods. *Indian Vet. Jour.* 1995 (72) 5 (469-471)
19. Basurto CH. Diagnóstico precoz de enfermedades metabólicas y reproductivas y tratamiento metafiláctico como medida preventiva en un hato de vacas Holstein en el último tercio de la gestación (Tesis de Licenciatura). México (D.F.) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1980.
20. Richards MW, Wettemann RP, Schoenemann B. Nutritional Anoestrus in Beef Cows: Concentrations of glucose and nonesterified fatty acid in plasma and insulin in serum. *Journal of Animal Science* 1989; 67: 2354-2362.
21. Lucy MC, Staples CR, Michel FM, Thatcher WW. Energy Balance and Size and Number of Ovarian Follicles Detected by Ultrasonography in Early Postpartum Dairy Cows. *Jour. Dairy Sci.* (1991) 74 (2) 473-482.
22. Oxenreider SL, Wagner WC. Effect of lactation and energy intake on postpartum ovarian activity in the cow. *Jour. Anim. Sci.* (1971) 33 (5) 1026 - 1031
23. McClure TJ, Nancarrow CD, Radford HM. The effect of 2-Deoxy-D-glucose on Ovarian Function of Cattle. *Aust. J. Biol. Sci.* (1978) 31 () 183-186
24. McDowell LR, Velásquez-Pereira J, Valle G.. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 3ª Ed. Boletín Universidad de Florida. Gainesville, Florida, E.E.U.U.;1997.

25. Miles WH, McDowell LR. Deficiencias de minerales en los pastos de los llanos colombianos. *Revista Mundial de Zootecnia* 1983; 46: 2-10.
26. Roche JF, Crowe MA, Boland MP. Postpartum anoestrus in dairy and beef cows. *Animal Reproduction Science* 1992; 28: 371-378.
27. Bastidas P, Tróconiz J, Verde O, Silva O. Effect of Restricted Suckling on Ovarian Activity and Uterine Involution in Brahman Cows. *Theriogenology* (1984) 21 (4) 525-532
28. Segura CVM, Rodríguez ROL. Efectos de diversos manejos de la lactación sobre la fertilidad de ganado cebú en trópico subhúmedo, con la utilización de inseminación artificial y monta natural. *Técnica Pecuaria en México* 1987; 25: 61-71.
29. Escobar FC, Carlos JL, Galina CS, Fernández-Baca S. Efecto del amamantamiento sobre la actividad reproductiva postparto en vacas cebú, criollas y F1 (Cebú x Holstein) en el trópico húmedo de México. *Veterinaria México* 1984; 15: 243 - 248.
30. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín Informativo del Servicio Meteorológico Nacional. Dirección General de Geografía y Meteorología de la SARH. 1985.
31. Edmonson AJ, Lean JJ, Weaver LD, Faver T, Webster G. A body condition scoring chart for Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 1989; 72: 68-78.
32. Benjamin MM. *Manual de Patología en Veterinaria*. 1ª Edición. Limusa. México, 1991.
33. Fiske & Subbarow. The determination of inorganic phosphate in whole blood, plasma or serum. *J. Biol. Chem.* (1925) 66 () 375-377.
34. Steel RGD, Torrie JH. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2ª Ed. México, D.F.: McGraw-Hill, 1988.

35. Morrison DF. Multivariate statistical methods. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 1976.
36. Statistical Analysis System (SAS) User's Guide: 1988. Basic and Statistics. SAS Institute. Cary, Nth. Caroline, 1988.
37. Gill LJ. Design and analysis of experiments in the animal and medical sciences. Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A., 1978.
38. Kinnear PR, Colin DG. SPSS for Windows. 1st Ed. Wiltshire, U.K. Psychology Press, 1997.
39. Medway W, Prier JE, Wilkinson, JS. Patología Clínica Veterinaria. 1ª Ed. UTEHA. México, D.F. 1986
40. Kaneko JJ. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 2nd Ed. Academic Press. New York. 1971.
41. Coffin DL. Laboratorio Clínico en Medicina Veterinaria. 3ª Ed. La Prensa Médica Mexicana. México, D.F. 1986
42. Mussman HC, Rave GV. Patología Clínica Veterinaria. 1ª Edición. ICA. Bogotá, Colombia, 1978.
43. Underwood EJ. Los minerales en la nutrición del ganado. 2ª Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1981.
44. Georgievskii VI. Mineral Composition of Bodies and Tissues of Animals. Cap 4. En: Georgievskii VI. Mineral Nutrition of Animals. 1st Ed. Mansells Bookbinders Ltd. 1982.
45. Doxey DL. Patología Clínica y Procedimientos de Diagnóstico en Veterinaria. 2ª Edición. El Manual Moderno. Cap 11. México, DF, 1987. 207-223

46. Brockman RP. Glucose and Short-Chain Fatty Acid Metabolism. Chap. 11. In: Forbes JM, France J. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. 1st Ed. C.A.B. International. University Press, Cambridge; U.K. 1993 Pág.: 249 - 265.
47. Short RE, Bellows RA, Moody EL, Howland BE. Effects of suckling and mastectomy on bovine postpartum reproduction. *Journal of Animal Science*. (1972) 34 (1) 70-74.
48. Bishop DK, Wettemann RP, Spicer LJ. Body energy reserves influence the onset of luteal activity after early weaning of beef cows. *Journal of Animal Science* (1994) 72 () 2703-2708.
49. Bolaños JM, Meneses A, Forsberg M. Resumption of ovarian activity in zebu cows (*Bos Indicus*) in the humid tropics: Influence of body condition and levels of certain blood components related to nutrition. *Tropical Animal Health and Production* (1996) 28 (3) 237-246.
50. Williams GL. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *Journal of Animal Science* (1990) 68 () 831-852.
51. Zarco QL, Hernández CJ. Usos y abusos de las hormonas en el manejo reproductivo de los bovinos. Memorias del XXI Congreso Nacional de Buiatría. Colima (Colima) México. 1997 Julio 9-12. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, AC. México, D.F. 1997.(316-321).
52. Cavallieri J, Rubio I, Kinder JE, Entwistle KW, Fitzpatrick LA. Synchronization of estrus and ovulation and associated endocrine changes in *Bos indicus* cows. *Theriogenology* (1997) 47 (4) 801-814. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (8) 4055.
53. Fike KE, Day ML, Inskip EK, Kinder JE, Lewis PE, Short RE, Hafs HD. Estrus and luteal function in suckled beef cows that were anoestrus when treated with an intravaginal device containing progesterone with or without a subsequent injection of

- estradiol benzoate. *Journal of Animal Science* (1997) 75 (8) 2009-2015. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (12) 6663.
54. Grimard B, Humblot P, Mialot JP, Ponter AA, Sauvant D, Thibier M. Factors affecting duration of postpartum oestrus and fertility at induced oestrus in suckler cows, with special reference to energy supplements. *Nutrition Abstracts and Reviews* (1997) 67 (1) 296.
55. De Fries CA, Neuendorff DA, Randel RD. Fat Supplementation Influences Postpartum Reproductive Performance in Brahman Cows. *Journal of Animal Science* (1998) 76 (3) 864-870.
56. Laster DB, Glimp HA, Gregory KE. Effects of early weaning on postpartum reproduction of cows. *Journal of Animal Science*. (1973) 36 (4) 734-740.
57. Lamb GC, Lynch JM, Grieger DM, Minton JE, Stevenson JS. *Ad libitum* suckling by an unrelated calf in the presence or absence of a cow's own calf prolongs postpartum anovulation. *Journal of Animal Science* (1997) 75 (10) 2762-2769. *Animal Breeding Abstracts* (1998) 66 (2) 942.
58. Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Chapin LT, Fogwell RL. Association Between Energy Balance and Luteal Function in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* (1988) 71 (4) 1063-1072.
59. Rutter LM, Manns JG. Hypoglycemia alters pulsatile luteinizing hormone secretion in the postpartum beef cow. *Jour. Anim. Sci.* (1987) 64 () 479-488
60. Mukasa-Mugerwa E, Anindo D, Lahlou-Kassi A, Umunna NN, Tegegne A. Effect of body condition and energy utilization on the length of post-partum anoestrus in PRID-treated and untreated postpartum *Bos indicus* (zebu) cattle. *Animal Science* (1997) 65 (1) 17-24. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (11) 5900.

61. Schingoethe DJ, Byers FM, Schelling GT. Nutrient needs during critical periods of the life cycle. Chap. 20. In: Church DC. The ruminant animal. Digestive Physiology and Nutrition. 1st Edition. Prentice Hall. New Jersey 1988. Pag 421 - 447.
62. Laflamme LF, Connor ML. Effect of postpartum nutrition and cow body condition at parturition on subsequent performance of beef cattle. *Can. Jour. Anim. Sci.* (1992) 72 () 843-851.
63. Lalman DL, Keisler DH, Williams JE, Scholljegerdes EJ, Mallet DM. Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anoestrus by undernourished suckled beef heifers. *Journal of Animal Science* (1997) 75 (8) 2003-2008. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (12) 6684.
64. Schillo; KK. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion en cattle and sheep. *Jour. Anim. Sci.* (1992) 70 () 1271-1283.
65. Schillo KK, Hall BJ, Hileman SM. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *Jour. Anim. Sci.* (1992) 75 () 3994:4005.
66. Troncoso AH, Efecto de la proteína dietética sobre la fertilidad del ganado. *Memorias del XX Congreso Nacional de Buiatría. Acapulco (Guerrero) México. 1996 Agosto 14-17. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, AC. México, D.F. 1997.(218-221)*
67. Folman Y, Neumark H, Kaim M, Kaufmann W. Performance, Rumen and Blood Metabolites in High-Yielding Cows Fed Varying Protein Percents and Protected Soybean. *Journal Dairy Science* (1981) 64 (5) 759-798.
68. Grimard B, Humblot P, Ponter AA, Mialot JP, Sauvant D, Thibier M. Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and oestradiol secretion and

- follicular development in suckled beef cows. *Journals of Reproduction and Fertility* (1995) 104 () 173-179
69. Jolly PD, McSweeney CS, Schlink AC, Houston EM, Entwistle KW. Reducing post-partum anoestrus interval in first-calf *Bos indicus* crossbred beef heifers III. Effect of nutrition on responses to weaning and associated variation in metabolic hormone levels. *Aust. J. Agric. Res.* (1996) 47 () 927-942
70. Soto CR. Algunos estudios de los efectos de la suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo y reproductivo de hembras Brahman en condiciones tropicales. Tesis Doctorado. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 1997.
71. Galina CS, Arthur GH. Review on Cattle Reproduction in the Tropics. Part 4. Oestrus Cycles. *Animal Breeding Abstracts* (1990) 58 (8) 697-707.
72. Fahey GC Jr, Berger LL. Carbohydrate nutrition of ruminants. Chap. 14. En: Church DC. *The ruminant animal; Digestive Physiology and Nutrition*. 1st Edition. Prentice Hall. New Jersey 1988. Pag 269-297.
73. Guyton AC. *Tratado de Fisiología Médica*. México, D.F.: Interamericana-McgrawHill, 1988.
74. Bauman DE, Currie WB. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* (1980) 63 (9) 1514-1529.
75. Baldwin RL, Kim WY. Lactation. Chap. 19. In: Forbes JM, France J. *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. 1st Ed. C.A.B. International. University Press, Cambridge; U.K. 1993 Pág.: 433 - 451.

83. Lobley GE. Protein Metabolism and Turnover. Chap. 14. In: Forbes JM, France J. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. 1st Ed. C.A.B. International. University Press, Cambridge; U.K. 1993 Pág.: 313 - 339.
84. García BCM. Importancia de los minerales en los procesos reproductivos en la hembra bovina. Academia de Investigación en Biología de la Reproducción A.C. Centro Médico Nacional Siglo XXI, México DF, 19 a 22 de Mayo de 1997.
85. Viana JAC, Zometa CA. El Magnesio en la Nutrición de los Rumiantes. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Editores: McDowell LR, Conrad JH(Universidad de Florida; Gainesville, Florida, U.S.A.). 22-26 de Marzo de 1976. Belo Horizonte, Brasil. Pág: 69-76
86. Grace ND. Magnesium. Chap. 13. En: Grace ND. The mineral Requirements of grazing Ruminants. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 92-99.
87. Durand M, Kawashima R. Influence of minerals in rumen microbial digestion. Chap. 18. In: Ruckebusch Y, Thivend P. Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. 1st Edition. MTP Press Limited. Lancaster, England, UK. 1980. Pag 375 - 408.
88. Sharma VK, Vadodaria VP, Kavani FS, Siddiquee GM. Studies on circulatory levels of trace minerals in normal cyclic and primary infertile Kankerej Heifers. Indian Vet. J. 1988 (65) 4 (332-335).
89. Grace ND. Manganese. Chap. 11. En: Grace ND. The mineral Requirements of grazing Ruminants. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 80-83.
90. Vizcarra JA, Wettemann RP, Spitzer JC, Morrison DG. Body condition at parturition and postpartum weight gain influence luteal activity and concentrations of glucose, insulin and nonesterified fatty acid in plasma of primiparous beef cows. Journal of Animal Science (1998) 76 (4) 927-936. Animal Breeding Abstracts (1998) 66 (9) 6166.

91. Maynard LA, Loosli JK, Hintz HF, Warner RG. *Nutrición Animal*. 7ª Ed. México, D.F. McGraw-Hill, 1981.
92. Mesaric M, Nemeč M, Zadnik T. The variation of cholesterol and triglycerides in blood serum of dairy cows with regard to physiological time and feeding seasons. *Nutrition Abstracts and Reviews* (1997) 67 (12) 5662.
93. Vhora SC, Dindorkar CV, Kaikini AS. Studies on blood serum levels of certain biochemical constituents in normal cycling and anoestrous crossbred cows. *Ind. Jour. Anim. Rep.* 1995 (16) 2 (85-87)
94. Wehrman ME, Welsh TH Jr, Williams GL. Diet-induced hyperlipidemia in cattle modifies the intrafollicular cholesterol environment, modulates ovarian follicular dynamics, and hastens the onset of postpartum luteal activity. *Biology of Reproduction*. (1991) 45 () 514-522.
95. Hightshoe RB, Cochran RC, Corah LR, Kiracofe GH, Harmon DL, Perry RC. Effects of Calcium Soaps of Fatty acids on Postpartum Reproductive Function in Beef Cows. *Jour Anim Sci* (1991) 69 () 4097 - 4103.
96. Lehninger AL. *Bioquímica*. 2ª Ed. Ediciones Omega, S.A.. Barcelona, España, 1985.
97. Tondle MK, Mohamed A, Honnappagol SS, Kartikesh SM, Jagjiwanram, Sonwane SD. Serum cholesterol, total protein, phosphorus and calcium levels in oestrus and anoestrus non-descript cows. *Indian Journal of Animal Reproduction* (1997) 18 (1) 44-45. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (12) 6715.
98. Raju MS, Gupta RC, Khurana NK, Khar SK. Plasma cholesterol levels in relation to superovulatory responses and embryo recovery. *Indian Journal of Animal Reproduction* (1996) 17 (2) 96-98. *Animal Breeding Abstracts* (1997) 65 (8) 4100.

99. Thompson DJ, Campabadal CM. El Calcio, Fósforo y Flúor en la Nutrición de los Rumiantes. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Editores: McDowell LR, Conrad JH(Universidad de Florida; Gainesville, Florida, U.S.A.). 22-26 de Marzo de 1976. Belo Horizonte, Br. Pág: 55-62.
100. Jordan ER, Chapman TE, Holtan PE, Swanson LV. Relationship of Dietary Crude Protein to Composition of Uterine Secretions and Blood in High-Producing Postpartum Dairy Cows. *Jour. Dairy Sci.* (1983) 66 (9) 1854-1862.
101. Serrano GLB, Leyva OC, López De LA. Efecto del exceso de proteína en la dieta de las vacas sobre la fertilidad. Memorias del XXI Congreso Nacional de Buiatría. Colima (Colima) México. 1997 Julio 9-12. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos. México, D.F. 1997 (212).
102. Jordan ER, Swanson LV. Serum progesterone and luteinizing hormone in dairy cattle fed varying levels of crude protein. *J. Anim Sci.* 48:1154. 1979.
103. Ferguson JD, Blanchard T, Galligan DT, Hosshall DC, Chalupa W. Infertility in dairy cattle fed a high percentage of protein degradable in rumen. *J. Am. Vet. Assoc.* 1988 192:659.
104. Emanović D, Timet D, Herak M, Mitin V, Krajlevic' P, Stojevic' Z, Milinkovic'-Tur S. Interactions of magnesium and sodium ions in the absorption of calcium ions from the bovine stomach. *NAR* (97) 67 (8) 3688.
105. Cunningham JG. *Fisiología Veterinaria*. Primera Edición. Interamericana-McGraw-Hill. México, D.F.. 1994 (412-413).
106. Garduza AG, García-Bojalil CM, Mendoza MGD, Sánchez-Torres EMT, Osorio AMM y Martínez-García JA. Comportamiento productivo y reproductivo postparto de vacas de doble propósito suplementadas con dos niveles de proteína no degradable en el

- rumen. Memorias del XXII Congreso Nacional de Buiatría. Acapulco (Guerrero) México. 1998 Julio 20 - 25. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, A.C. México, D.F. 1998 (158-160)
107. Grace ND. Calcium. Chap. 14. En: Grace ND. The mineral Requirements of grazing Ruminants. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 100-105.
108. Candanosa de ME, Bouda J, Quiroz RG, Ramírez DG, Rubio GI. Desbalances minerales en vacas de doble propósito detectados en diferentes períodos del año. Memorias del XXI Congreso Nacional de Buiatría; 1997 Julio 9-12; Colima (Colima) México. México D.F.: Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos A.C., 1997: 216.
109. Serrano EO, Spross SK, Flores JE. Concentraciones minerales durante el ciclo estral en vaquillas estabuladas. Memorias del XV Congreso Nacional de Buiatría; 1991 Agosto 8-10; Veracruz (Veracruz) México. México D.F.: Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos A.C., 1991: 39-42.
110. Rupde ND, Rode AM, Sarode DB, Zade NN, Jagtap NN, Kaikini AS. Serum Biochemical Profile in Repeat Breeders. Ind. Jour. An. Rep. 1993 (14) 2 (79-81)
111. Forbes JM. Hormones and metabolites in the control of food intake. Chap. 7. In: Ruckebusch Y, Thivend P. Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. 1st Edition. MTP Press Limited. Lancaster, England, UK. 1980. Pag 145 - 160.
112. Ternouth JH, Coates DB. Phosphorus homeostasis in grazing breeder cattle. Journal of Agricultural Science (1997) 128 (3) 331-337.
113. Adame P, Paasch L, Bouda J, Yabuta AK. Evaluación del estado mineral y proteico en vacas de cría de ganado de engorda de zona tropical. Memorias del XXI Congreso Nacional de Buiatría; 1997 Julio 9-12; Colima (Colima) México. México D.F.:

- Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos A.C., 1997: 168-170.
114. McDowell LR, Houser RH, Fick KR, López BSR. Hierro, Manganese y Zinc en la Nutrición de los Rumiantes. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Editores: McDowell LR, Conrad JH (Universidad de Florida; Gainesville, Florida, U.S.A.). 22-26 de Marzo de 1976. Belo Horizonte, Brasil. Pág: 124-133.
115. Jain GC. Mineral profiles during anestrus and repeat breeding in bovines. *Int. J. Anim. Sci.* (1994) 9 : 241-245.
116. Towers NR, Grace ND. Iron. Chap. 10. En: Grace ND. *The mineral Requirements of grazing Ruminants*. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 76-79.
117. Towers NR, Grace ND. Zinc. Chap. 12. En: Grace ND. *The mineral Requirements of grazing Ruminants*. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 84-91.
118. Grace ND. Copper. Chap. 7. En: Grace ND. *The mineral Requirements of grazing Ruminants*. 2nd Edition. THL Publishers. Singapore, 1983. Pág: 56-66.
119. Coelho da Silva JF, Chávez VC. Cobre y Molibdeno en la Nutrición de los Rumiantes. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Editores: McDowell LR, Conrad JH (Universidad de Florida; Gainesville, Florida, U.S.A.). 22-26 de Marzo de 1976. Belo Horizonte, Br. Pág: 98-105.
120. Flores MJE, Spross SAK, Lima TVM, Ochoa GP. Efecto de suplementar cobre, manganeso y zinc en la tasa de concepción a primer servicio de vaquillas holstein. I. Vaquillas no sincronizadas. *Memorias del XV Congreso Nacional de Buiatría*; 1991 Agosto 8-10; Veracruz (Veracruz) México. México D.F.: Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos A.C., 1991: 43-47.

IX. - Cuadros

Cuadro 1. Efecto del tipo de amamantamiento, edad al destete y tratamiento hormonal sobre el porcentaje de fertilidad a inseminación artificial (IA) y monta natural (MN) en vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

Subgrupo	Fertilidad a IA	Fertilidad a MN	Tasa de Preñez
	FIA (%)	FMN (%)	FT (%)
A1	55.0 ^a	10.0 ^a	65.0 ^a
A2	26.3 ^b	21.1 ^b	47.4 ^a
B1	55.6 ^a	33.3 ^b	88.9 ^b
B2	42.1 ^a	47.4 ^c	89.5 ^b
C1	50.0 ^a	25.0 ^b	75.0 ^b
C2	70.0 ^c	10.0 ^a	80.0 ^b

Distinta literal entre filas indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Cuadro 2. Efecto del tipo de amamantamiento, edad al destete y tratamiento hormonal sobre el intervalo parto - estro (IPE), intervalo tratamiento inicio del estro (ITIE) y los días abiertos (DA) en vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

Subgrupo	I P E (días)	I T I E (horas)	I P C (días)
A1	74 ± 23 ^a	44 ± 12 ^{ab}	85 ± 24 ^a
A2	79 ± 27 ^a	55 ± 15 ^{ab}	111 ± 30 ^a
B1	76 ± 19 ^a	42 ± 8 ^a	101 ± 36 ^a
B2	68 ± 26 ^a	60 ± 20 ^b	103 ± 31 ^a
C1	70 ± 10 ^a	46 ± 14 ^{ab}	105 ± 36 ^a
C2	79 ± 28 ^a	60 ± 20 ^b	101 ± 28 ^a

Distinta literal entre filas indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$)

Cuadro 3. Medias mínimo cuadráticas (\pm DE) de los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

Variable	Grupos			Promedio General	Rango Normal *
	A	B	C		
Glc	36.2 \pm 0.99	36.5 \pm 1.0	38.4 \pm 0.9	39.1 \pm 14.0	30 - 75
Col	181.9 \pm 4.51 ^a	170.8 \pm 4.59 ^{bc}	162.7 \pm 4.42 ^{bc}	168.3 \pm 52.2	50 - 240
UN	11.9 \pm 0.23 ^a	10.9 \pm 0.23 ^b	11.2 \pm 0.22 ^b	11.4 \pm 3.5	6.0 - 30
Ca	94.9 \pm 0.73	92.9 \pm 0.79	93.0 \pm 0.74	93.9 \pm 8.5	70 - 120
P	41.2 \pm 1.9	41.9 \pm 1.9	46.0 \pm 1.9	42.6 \pm 13.6	40 - 80
Mg	23.7 \pm 0.27	23.4 \pm 0.29	23.7 \pm 0.27	23.6 \pm 3.6	18 - 32
Fe	2.6 \pm 0.11 ^a	3.04 \pm 0.12 ^b	2.7 \pm 0.11 ^a	2.6 \pm 1.4	0.57 - 2.53
Zn	3.7 \pm 0.13	3.5 \pm 0.14	3.8 \pm 0.13	3.2 \pm 2.9	0.8 - 1.5
Mn	0.14 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.1 \pm 0.07	0.015 - 0.025
Cu	0.5 \pm 0.03 ^a	0.7 \pm 0.04 ^b	0.5 \pm 0.03 ^a	0.6 \pm 0.3	0.5 - 1.2
Co	ND	ND	ND	ND	0.02
Se	ND	ND	ND	ND	0.005 - 0.007

a, b, c; distinta literal entre columnas indica diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$); ND= Valores no detectables en suero por la técnica utilizada ;
 * Valores mínimo y máximo reportados en la literatura ^{32, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45}

Cuadro 4. Medias mínimo cuadráticas (\pm DE) de los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días, sincronizadas con progestágenos y PMSG, en empadre estacional, pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

Variable	Subgrupos					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Glc	33.9 \pm 1.2	38.4 \pm 1.3	38.1 \pm 1.2	34.9 \pm 1.4	39.3 \pm 1.2	37.6 \pm 1.3
Col	193.5 \pm 5.5	170.5 \pm 6.2	167.8 \pm 5.7	173.8 \pm 6.6	164.0 \pm 5.7	161.4 \pm 6.1
UN	12.7 \pm 0.3	11.1 \pm 0.3	10.9 \pm 0.3	11.0 \pm 0.3	11.2 \pm 0.3	11.3 \pm 0.3
Ca	96.4 \pm 0.9	93.5 \pm 1.0	93.8 \pm 1.0	92.0 \pm 1.1	93.2 \pm 1.0	92.8 \pm 1.1
P	44.8 \pm 2.6	37.6 \pm 2.6	40.0 \pm 2.6	43.8 \pm 2.8	47.9 \pm 2.4	44.1 \pm 2.8
Mg	24.1 \pm 0.35	23.2 \pm 0.38	23.6 \pm 0.37	23.2 \pm 0.42	23.7 \pm 0.36	23.6 \pm 0.40
Fe	2.4 \pm 0.1 ^a	2.8 \pm 0.2	2.9 \pm 0.1	3.1 \pm 0.2	3.0 \pm 0.15	2.5 \pm 0.2
Zn	3.7 \pm 0.2	3.7 \pm 0.2	3.7 \pm 0.2	3.3 \pm 0.2	4.0 \pm 0.2	3.5 \pm 0.2
Mn	0.13 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.14 \pm 0.02	0.12 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01
Cu	0.52 \pm 0.04	0.52 \pm 0.05	0.61 \pm 0.05	0.74 \pm 0.06	0.6 \pm 0.05	0.54 \pm 0.05

Distinta literal entre columnas indica diferencia significativa ($P < 0.05$)

Cuadro 5. Efecto del tiempo postparto (días) sobre la condición corporal y los perfiles séricos de metabolitos (mg/dl) y minerales (ppm) en vacas Brahman sincronizadas durante el postparto en el Trópico Húmedo de México

Variable	Tiempo Postparto (días)										r
	34	50	64	78	92	113	127	141	155	169	
Glc	21.2±3.73	30.8±2.62	30.0±1.41	40.3±1.67	21.5±1.49	39.9±1.40	45.2±1.53	48.0±1.49	47.3±1.39	45.9±1.42	0.5181*
Col	212.8±18.0	177.9±11.6	141.3±6.4	156.4±7.4	167.1±6.8	141.5±6.4	177.9±6.9	165.7±6.8	175.0±6.4	203.1±6.5	0.1800*
UN	13.5±0.93	11.4±0.59	9.2±0.33	6.6±0.40	8.7±0.35	9.8±0.33	13.0±0.36	14.6±0.35	13.7±0.32	13.3±0.33	0.5007*
Ca	93.8±2.09	93.0±1.82	95.8±1.13	92.1±1.60	91.5±1.15	96.2±1.10	98.5±1.21	91.3±1.22	91.6±1.12	92.1±1.14	-0.0738
P	54.7±5.98	42.7±4.73	35.9±2.97	34.9±3.68	46.2±2.82	42.9±2.77	45.7±3.02	42.5±3.52	42.1±2.92	43.0±3.04	0.0452
Mg	24.9±0.78	25.1±0.68	22.6±0.41	20.7±0.60	26.4±0.42	26.0±0.41	24.1±0.43	20.1±0.46	22.9±0.42	22.9±0.42	-0.1563*
Fe	3.40±0.34	2.51±0.29	2.70±0.18	4.43±0.25	3.12±0.18	2.65±0.17	2.77±0.19	2.17±0.19	2.08±0.17	1.95±0.19	-0.2861*
Zn	12.6±0.37	2.31±0.32	3.14±0.20	2.01±0.28	1.77±0.20	2.29±0.19	5.69±0.22	1.95±0.21	2.87±0.21	1.98±0.20	-0.3520*
Mn	0.09±0.02	0.19±0.02	0.12±0.01	0.16±0.02	0.18±0.01	0.21±0.01	0.16±0.02	0.10±0.02	0.08±0.01	0.12±0.01	-0.1797 [†]
Cu	0.45±0.08	0.47±0.08	0.48±0.06	0.31±0.07	0.36±0.06	0.66±0.06	0.75±0.06	0.94±0.06	0.73±0.06	0.72±0.06	0.4916*

Distinta literal entre columnas indica diferencia estadísticamente significativa (P<0.01)

* asociación altamente significativa (P<0.01) † asociación significativa (P<0.05)

Cuadro 6. Coeficientes de correlación significativos entre metabolitos y minerales séricos, por tipo de lactancia y en general, de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

GLUCOSA				
Variable	Grupo A	Grupo B	Grupo C	General
Glc*Col	0.22983**			0.1044*
Glc*NUS	0.36497**	0.41369**		0.2918**
Glc*Mg	-0.20235*	-0.32103**	-0.27798**	-0.2492**
Glc*Fe		-0.29421**		-0.1180*
Glc*Zn				-0.1056*
Glc*Mn	-0.43730**	-0.40478**		-0.2182*
Glc*Cu	0.45816**		0.31375*	0.3160**
Glc*CC		0.35964**		0.1387**
COLESTEROL				
Variables	Grupo A	Grupo B	Grupo C	General
Col*NUS	0.35595**	0.20832*	0.34192**	0.3281**
Col*Ca	0.17361*			NS
Col*P		0.36968*		NS
Col*Mg	0.19958*			0.1156*
Col*Zn		0.27755**		0.1383**
Col*Cu	0.38598*			NS
Col*CC				-0.1213*
NITRÓGENO UREICO				
Variables	Grupo A	Grupo B	Grupo C	General
NUS*P		0.38745**		0.1973*
NUS*Mg	-0.19281*			-0.1278*
NUS*Fe	-0.17153*	-0.21650*		-0.1860**
NUS*Zn	0.30318**			0.1261*
NUS*Mn				-0.2790**
NUS*Cu	0.48469**			0.3464**
NUS*CC		0.31609**	0.17530*	NS

** (P<0.01)

* (P<0.05)

NS (P>0.05)

Cuadro 7. Coeficientes de correlación significativos de parámetros reproductivos con la CC, metabolitos y minerales durante el postparto de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

Variable	n	R
DA * Glc	443	-0.1394**
IPE * Glc	443	-0.1058*
IPE * Col	444	0.1158*
ITIE * Col	271	-0.1316*
IPE * Mg	456	-0.0966*
ITIE * Mg	274	-0.1404*
IPE * Ca	447	-0.1088*
IPC * CC	552	-0.4334**
IPE * CC	552	-0.5093**
ITIE * CC	335	0.2145**

** (P<0.01)

* (P<0.05)

Cuadro 8. Coeficientes de correlación significativos entre minerales séricos, por tipo de lactancia y en general, durante el postparto de vacas Brahman en empadre estacional pastoreando en el Trópico Húmedo de México

Variables Correlacionadas	Grupo A	Grupo B	Grupo C	General
Ca * Mg			0.36159*	0.2196**
Ca * Zn	0.19472*			0.1298**
Mg * Fe		0.1894*		
Mg * Cu		-0.3732*		
Mg * Mn		0.4449**		
Mg * Zn				0.1149*
Cu * Mn				-0.5662**
Fe * Mn	0.7108**			
Fe * Cu	-0.30344*	-0.31881*		-0.2051*
Fe * Zn				0.1645**
Mn * Zn	-0.31382*		-0.43961*	-0.1961*

** (P<0.01)

* (P<0.05)

X.- Figuras

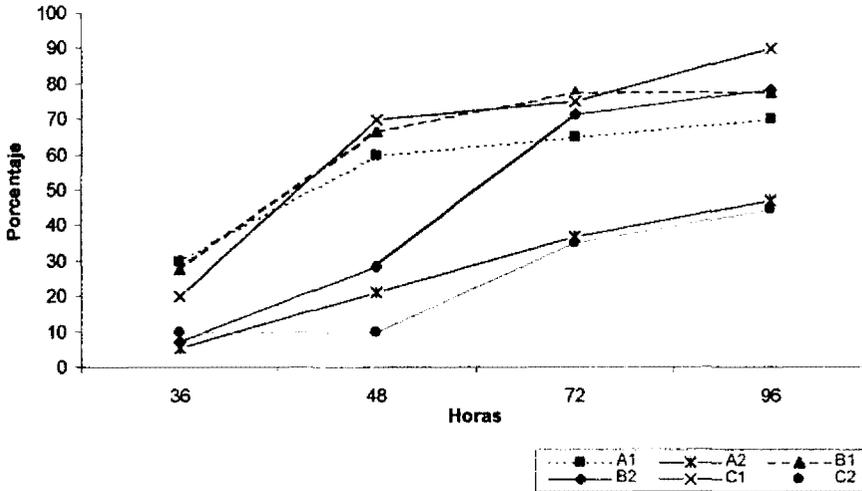


Figura 1. Porcentaje acumulado de estros en Respuesta al Tratamiento Hormonal, de acuerdo con el Tipo de Amamantamiento y Edad al Destete de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

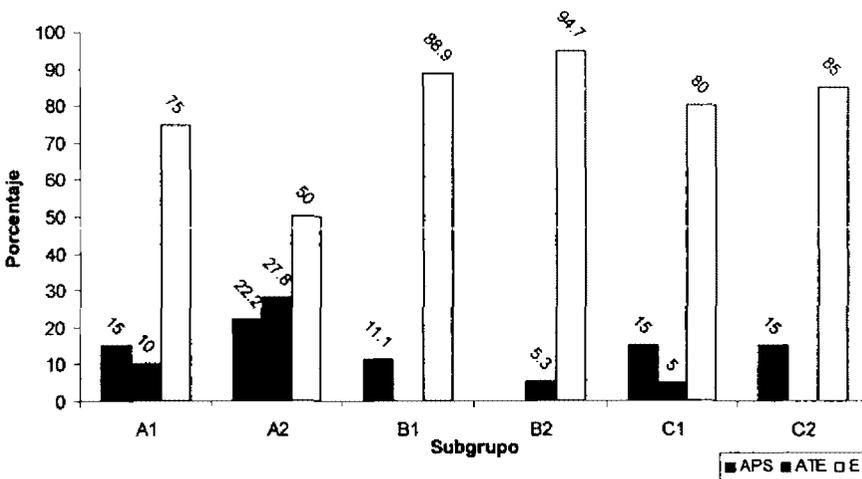


Figura 2. Porcentaje de Anestros Postservicio (APS), Anestros Durante Todo el Empadre (ATE) y Estro Total (E) de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días; sincronizadas con progestágenos y PMSG pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

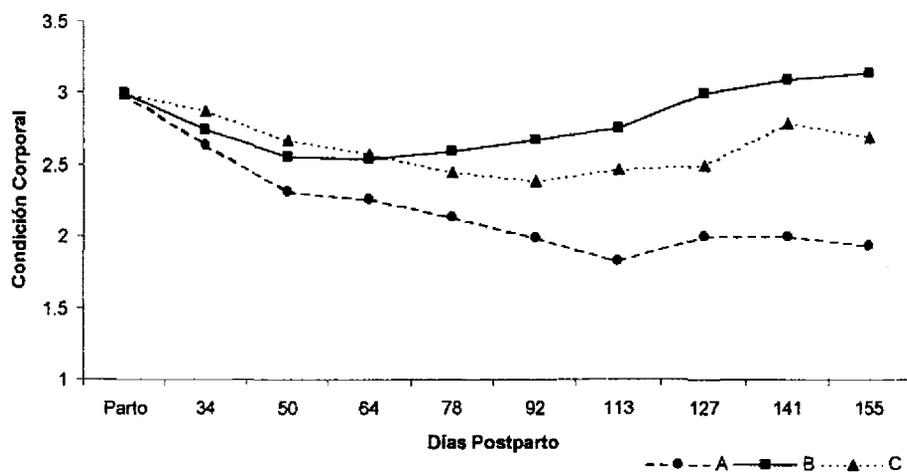


Figura 3. Cambios en la Condición Corporal durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

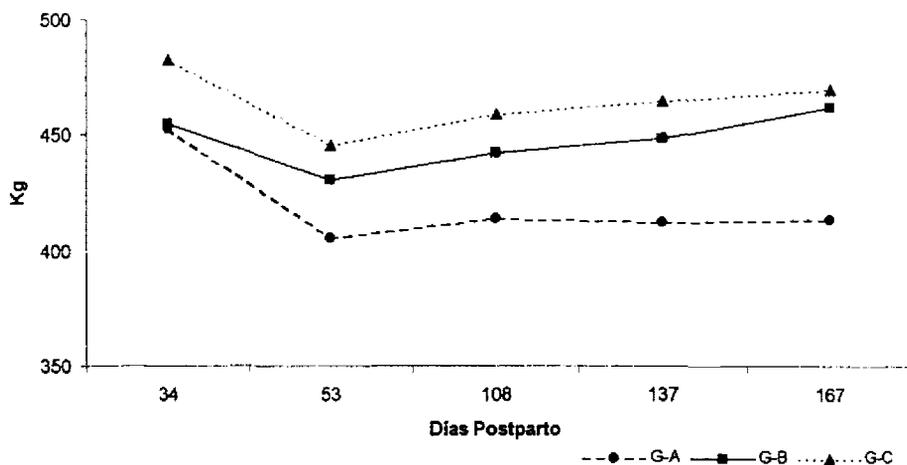


Figura 4. Cambios en el Peso Corporal durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

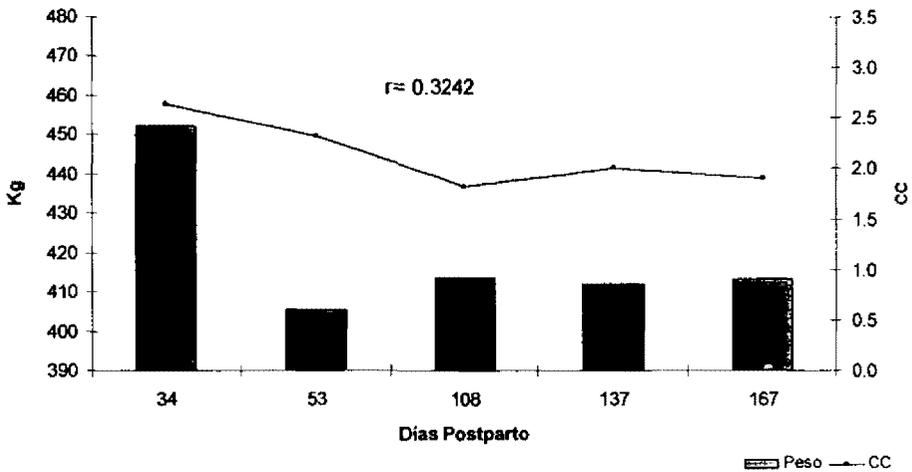


Figura 5. Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

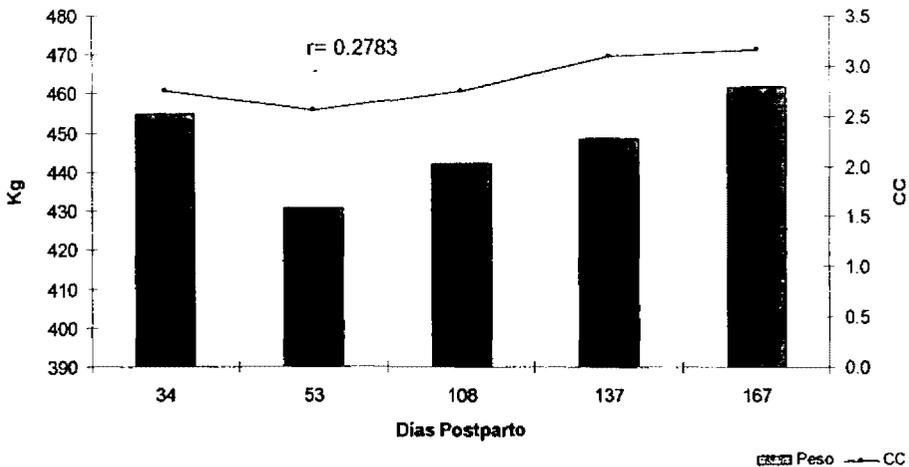


Figura 6. Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 60 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

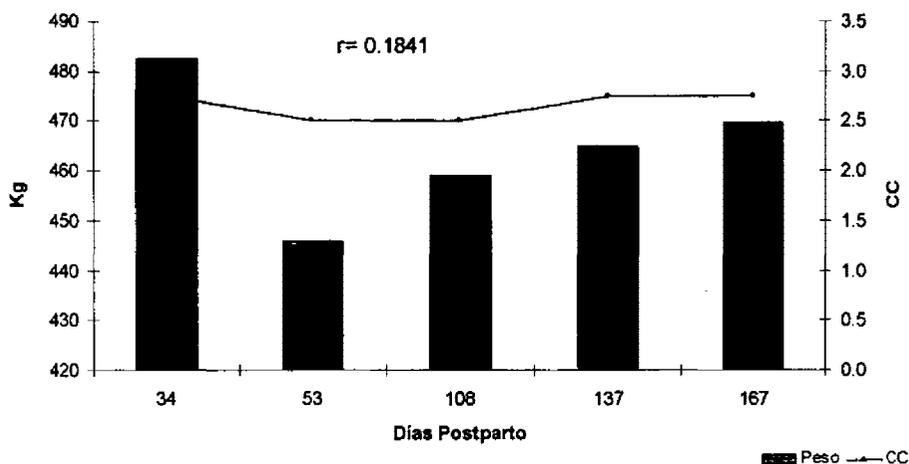


Figura 7. Correlación Peso x Condición Corporal en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

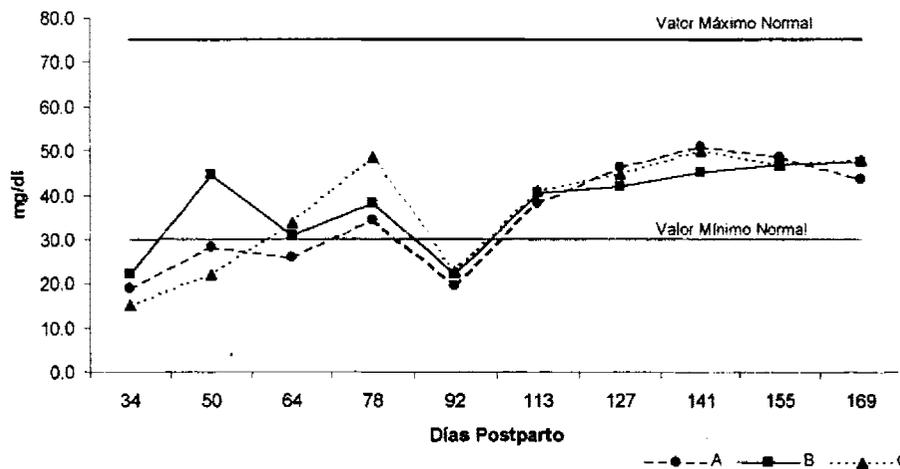


Figura 8. Niveles séricos de Glucosa durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

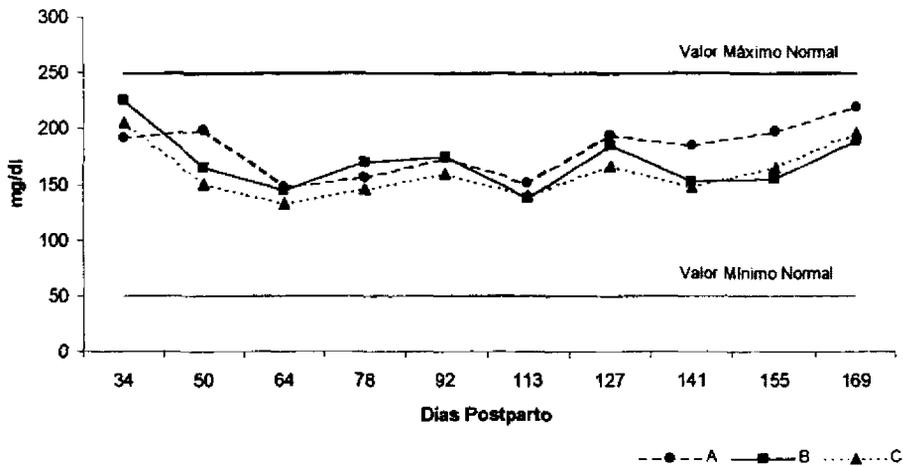


Figura 9. Niveles séricos de Colesterol durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

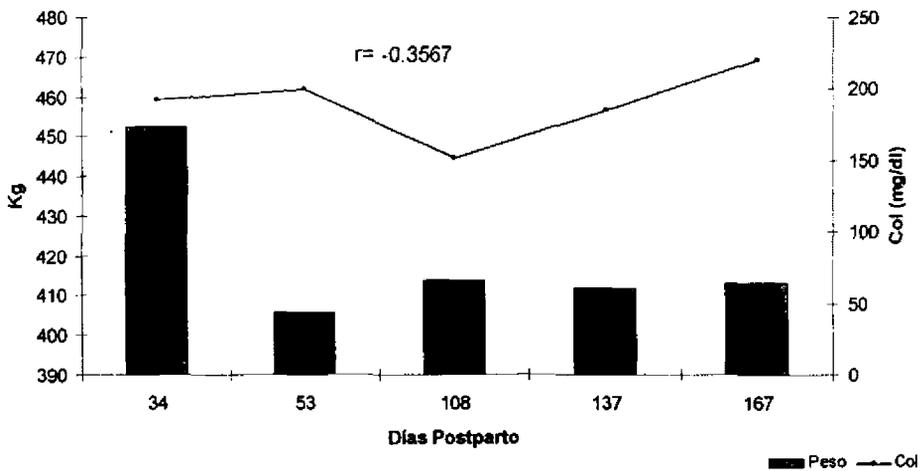


Figura 10. Correlación Peso x Colesterol en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

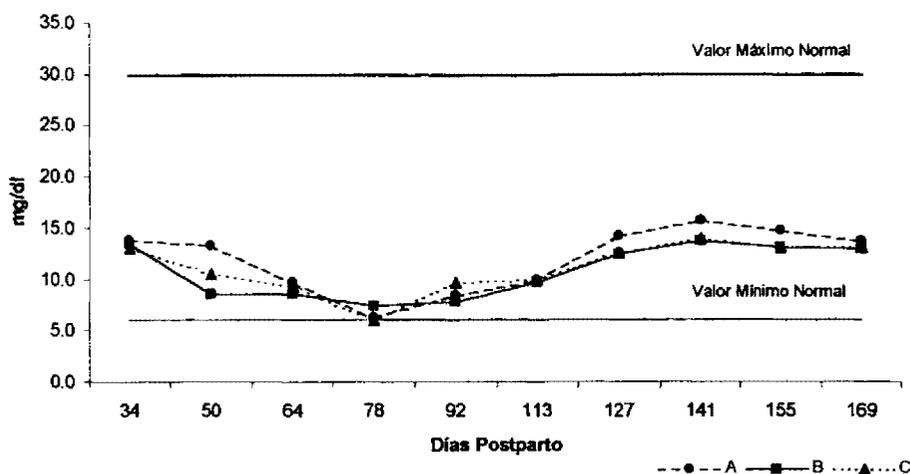


Figura 11. Niveles séricos de Nitrógeno Uréico durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

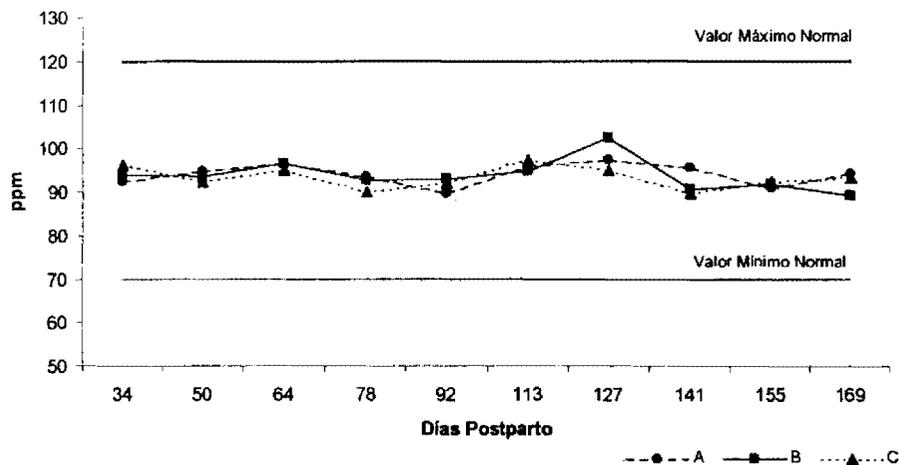


Figura 12. Niveles séricos de Calcio durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

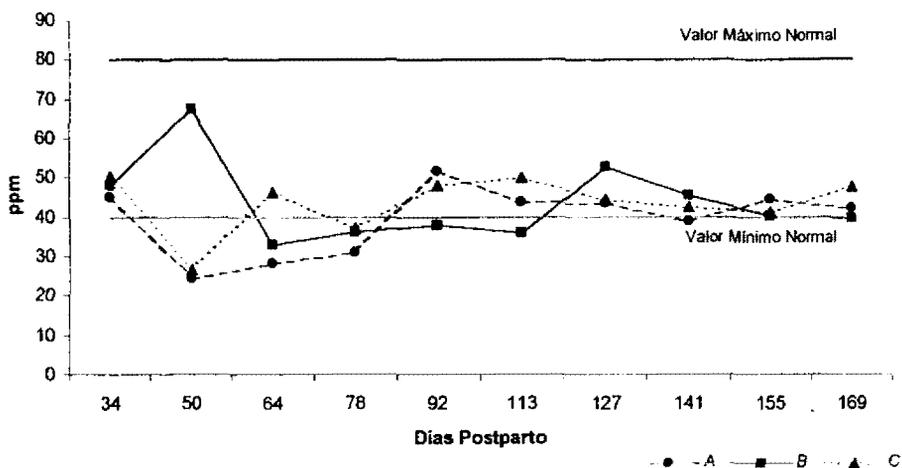


Figura 13. Niveles séricos de Fósforo durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

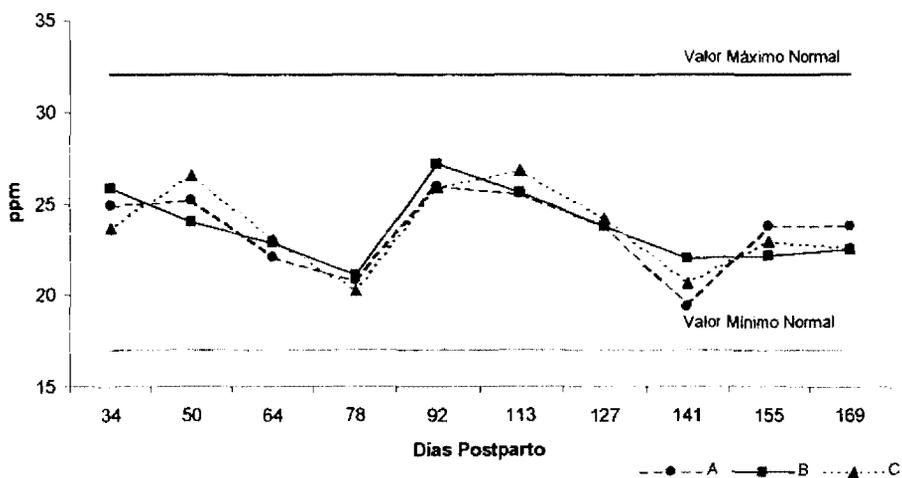


Figura 14. Niveles séricos de Magnesio durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

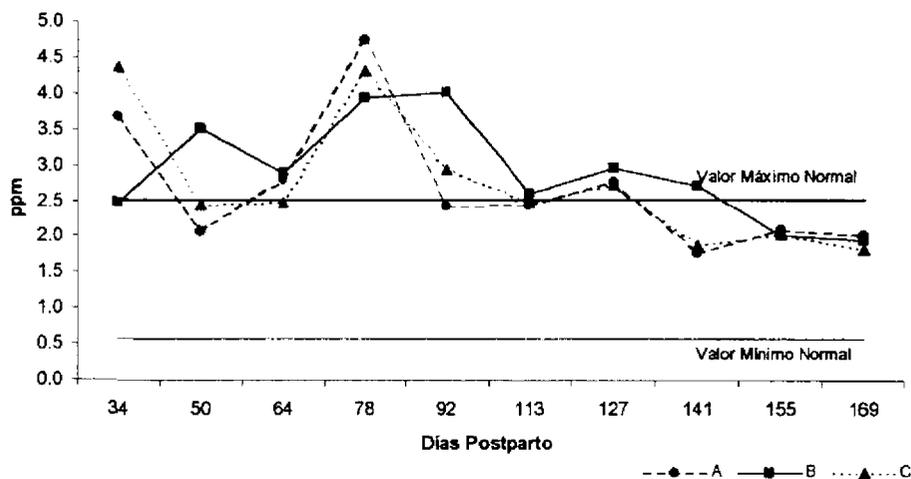


Figura 15. Niveles séricos de Hierro durante el período postparto de vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

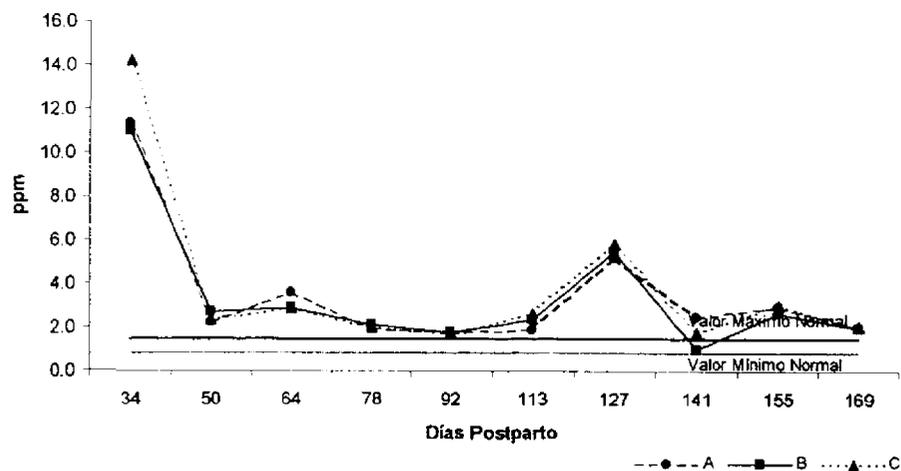


Figura 16. Niveles séricos de Zinc durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

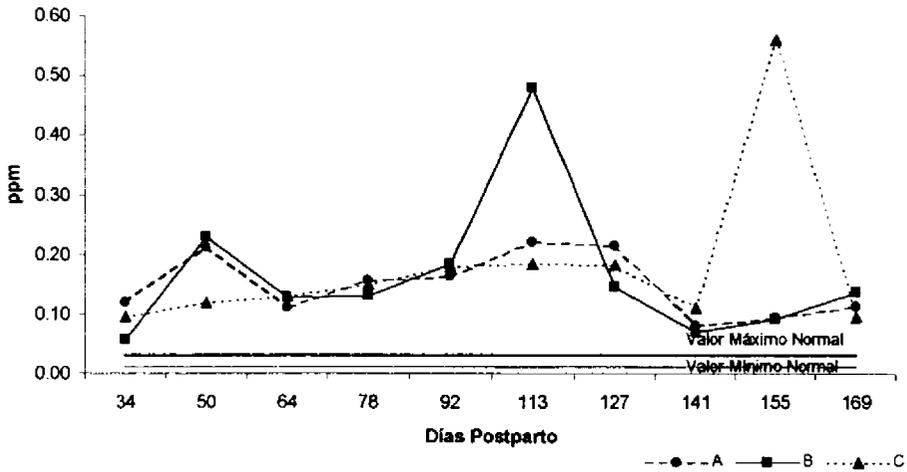


Figura 17. Niveles séricos de Manganeso durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

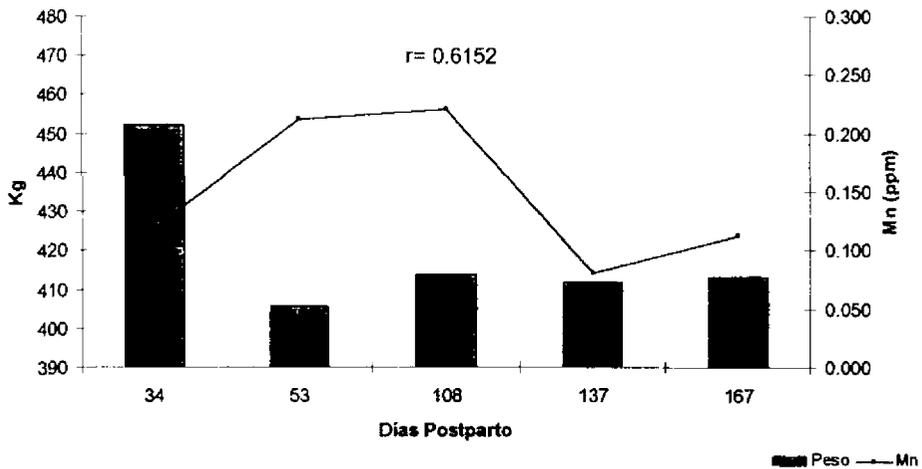


Figura 18. Correlación Peso x Manganeso en vacas Brahman en amamantamiento continuo con destete a 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

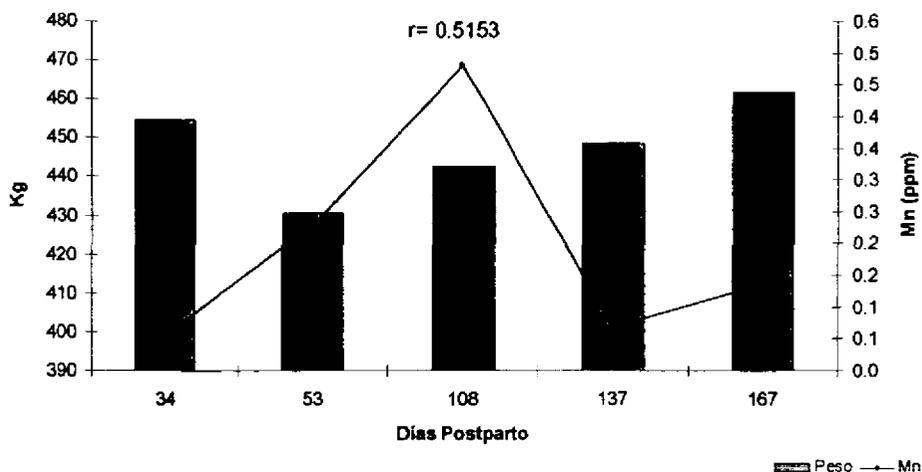


Figura 19. Correlación Peso x Manganeso en vacas Brahman en amamantamiento restringido con destete a 60 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

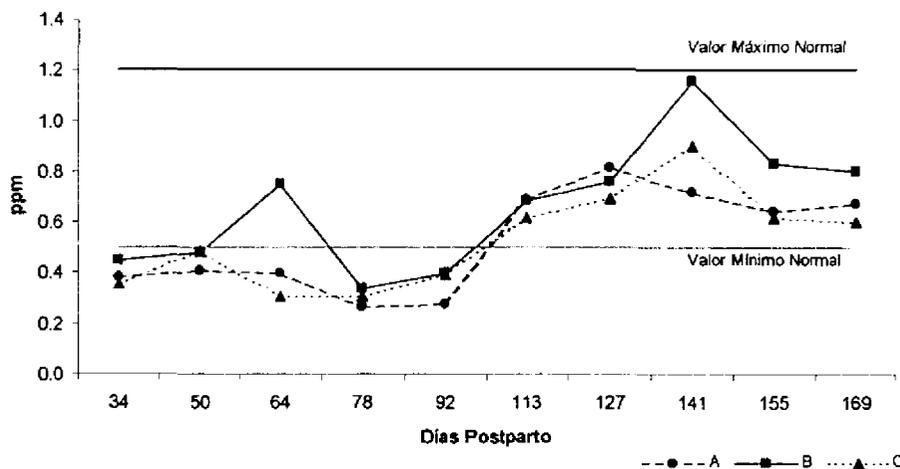


Figura 20. Niveles séricos de Cobalto durante el período postparto en vacas Brahman en amamantamiento restringido y continuo con destete a 60 y 180 días pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

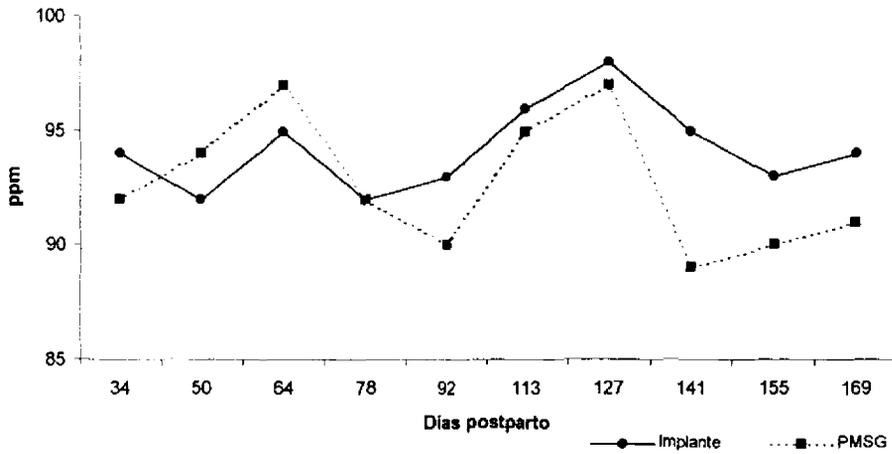


Figura 21. Niveles séricos de Calcio en respuesta al Tratamiento Hormonal utilizado durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

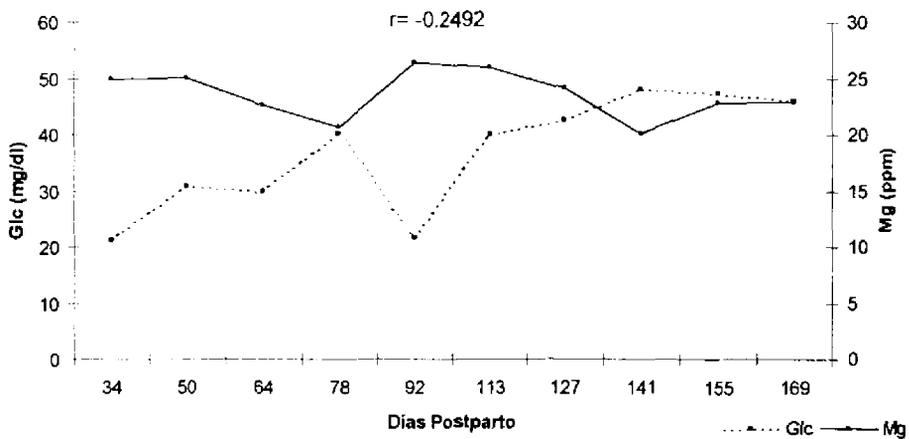


Figura 22. Correlación Glucosa x Magnesio durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.

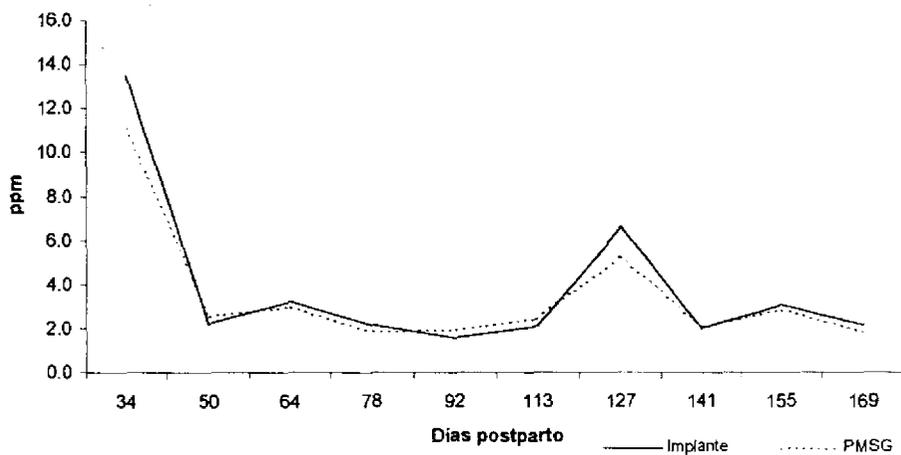


Figura 23. Niveles séricos de Zinc en respuesta al Tratamiento Hormonal utilizado durante el postparto de vacas Brahman pastoreando en el Trópico Húmedo de México.