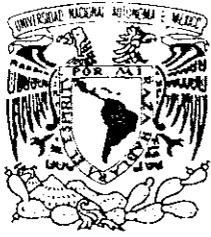


01690

5



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**Efectos de la dieta y el amamantamiento en la fisiología  
metabólica y reproductiva posparto de vacas bajo un  
sistema de doble propósito tropical.**

**T E S I S**

Que para obtener el Grado de  
**DOCTOR EN CIENCIAS**  
DE LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL

P r e s e n t a

**Eugenio Villagómez Amezcua Manjarrez**

Director: M.V.Z. M. Sc. Ph. D. Alejandro Villa Godoy

Tutor principal: M.V.Z. M. Sc. Ph. D. Everardo González Padilla

México, D. F.

2002

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## INDICE

RESUMEN.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE GRÁFICAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Vacas de doble propósito, y anestro posparto.....	4
Nutrición, condición corporal, y anestro posparto.....	5
Vacas productoras de carne.....	5
Vacas productoras de leche.....	5
Balance energético.....	6
Balance energético y anestro posparto.....	6
Nutrición y función del eje hipotálamo-hipófisis-ovario durante el anestro posparto.....	7
Endocrinología metabólica durante el periodo posparto y el anestro.....	8
Ácidos grasos no esterificados (AGNE).....	8
Nitrógeno ureico sérico (NUS).....	9
Eje Insulina-Hormona del crecimiento (ST)-Factor del crecimiento parecido a la insulina (IGF-1).....	10
Hormonas tiroideas.....	11
Amamantamiento y anestro posparto.....	12
Amamantamiento y la función del eje hipotálamo-hipófisis-ovario.....	12
Manejo del amamantamiento y anestro posparto.....	13
Interacción del amamantamiento y la nutrición sobre el anestro posparto.....	14
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS.....	16

<b>EXPERIMENTO 1 Efectos de la dieta y el amamantamiento en la fisiología metabólica y reproductiva posparto de vacas bajo un sistema de doble propósito tropical: I.- consumo voluntario, producción de leche y balance energético.....</b>	<b>18</b>
Introducción.....	19
Material y Métodos.....	20
Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría.....	20
Mediciones de peso y condición corporal.....	22
Toma de muestras y análisis de alimento.....	22
Estimación del balance energético.....	22
Variables de respuesta y análisis estadístico.....	23
Resultados y discusión.....	24
Conclusiones.....	36
<b>EXPERIMENTO 2 Efectos de la dieta y el amamantamiento en la fisiología metabólica y reproductiva posparto de vacas bajo un sistema de doble propósito tropical: II.- concentración de hormonas metabólicas y metabolitos.....</b>	<b>47</b>
Introducción.....	48
Material y Métodos.....	49
Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría.....	49
Colección de muestras sanguíneas y análisis de laboratorio.....	50
Variables de respuesta y análisis estadístico.....	51
Resultados.....	53
Discusión.....	55
Conclusiones.....	62
<b>EXPERIMENTO 3 Efectos de la dieta y el amamantamiento en la fisiología metabólica y reproductiva posparto de vacas bajo un sistema de doble propósito tropical: III.- desarrollo folicular y el anestro posparto.....</b>	<b>71</b>
Introducción.....	72
Material y Métodos.....	73
Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría.....	73
Ultrasonografía de los ovarios y clasificación folicular.....	74

<b>Colección de muestras sanguíneas y análisis de laboratorio</b> .....	<b>75</b>
<b>Variables de respuesta y análisis estadístico</b> .....	<b>75</b>
<b>Resultados y discusión</b> .....	<b>78</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>90</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>95</b>

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo voluntario de pasto durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	39
CUADRO 2.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo voluntario de pasto y suplemento energético o harina de carne durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	40
CUADRO 3.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo de energía neta de la lactación durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	41
CUADRO 4.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la producción de leche durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	42
CUADRO 5.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el contenido de grasa durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	43
CUADRO 6.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el contenido de proteína durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	44
CUADRO 7.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la condición corporal semanal durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	45

CUADRO 8 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el balance energético durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	46
CUADRO 9 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de ácidos grasos no esterificados durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	64
CUADRO 10 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de nitrógeno ureico durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	65
CUADRO 11 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de insulina durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	66
CUADRO 12 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de triyodotironina (T <sub>3</sub> ) durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	67
CUADRO 13 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de tiroxina (T <sub>4</sub> ) durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	68
CUADRO 14 - Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la relación de tiroxina con triyodotironina durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.....	69

<b>CUADRO 15.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre los intervalos ( días ) del parto al primer cuerpo lúteo (PCL) y al primer estro posparto (PESTRO) en vacas de doble propósito.....</b>	<b>92</b>
<b>CUADRO 16.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre los intervalos del parto a el primer folículo pequeño (5 a 7.9 mm; IP1FP), el primer folículo mediano ( 8 a 9.9 mm; IP1FM), el primer folículo grande (≥10 mm; IP1FG) y sobre el diámetro del folículo más grande ( DFG ) y el número de oleadas foliculares ( NOF ) durante los primeros 40 d posparto en vacas de doble propósito.....</b>	<b>93</b>
<b>CUADRO 17.- Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la duración ( días ) de la onda folicular ( DURON ) y de sus fases: crecimiento (DURCRE), meseta ( DURME ) y atresia ( DURATRE ) durante los 60 d previos al estro en vacas de doble propósito.....</b>	<b>94</b>

## **INDICE DE GRÁFICAS**

<b>Gráfica 1.- Perfiles de las concentraciones séricas de triyodotironina (T<sub>3</sub>) sérica y tiroxina (T<sub>4</sub>) sérica en vacas de doble propósito (0-9 semanas posparto).....</b>	<b>70</b>
--	-----------

## RESUMEN

Se estudiaron los efectos de la suplementación energética (S) y el amamantamiento sobre: 1) el balance energético (BE), 2) la endocrinología metabólica, y 3) el anestro posparto en 38 vacas de doble propósito (DP; Bos taurus X Bos indicus) en clima tropical. Se utilizó un arreglo factorial 2\*2; los factores fueron: 1) S (con o sin) y 2) Amamantamiento (con o sin). En el experimento I se registró diariamente el consumo y producción, y semanalmente la composición de la leche y condición corporal; se estimó el BE diario. La S y el amamantamiento, solos y asociados, aumentaron el consumo de ENL, la producción de leche y el BE. La proteína en leche se correlacionó positivamente con la condición corporal. En el experimento II, en suero colectado cada 5 días se observó que la S aumentó las concentraciones de nitrógeno ureico, insulina, triyodotironina, tiroxina, y redujo las de ácidos grasos no esterificados (AGNE). El amamantamiento interactuó reduciendo la insulina en vacas sin S y aumentó los AGNE y nitrógeno ureico. En las vacas amamantadas, las variables de función tiroidea, aumentaron en las suplementadas y disminuyeron en las que no lo fueron. El consumo y BE se asociaron negativamente con AGNE y positivamente con triyodotironina. En el experimento III, mediante detección de celos, radioinmunoanálisis de progesterona y ultrasonido de estructuras ováricas se determinó que la S aceleró la actividad lútea aún en vacas amamantadas y favoreció las variables de desarrollo folicular. El amamantamiento interactuó con la S para retardar la presentación del estro. En conclusión el pasto como única fuente de alimento, no permite el consumo de energía requerida para sostener la lactación con un BE positivo, aún con producciones menores a los 5 kg/d, por lo que en vacas de DP el BE depende fundamentalmente del consumo de energía y no del nivel de producción de leche. Los niveles séricos de triyodotironina y AGNE son los mejores indicadores del estado nutricional de las vacas de DP. En la interacción que el amamantamiento y la S ejercen sobre la duración del anestro, la deficiencia energética afecta negativamente el desarrollo inicial de los folículos y su período de dominancia; mientras que el amamantamiento inhibe el desarrollo final del folículo y quizá su ovulación.

## RESUMEN

**Villagómez Amezcua Eugenio. Efectos de la dieta y el amamantamiento en la fisiología metabólica y reproductiva posparto de vacas bajo un sistema de doble propósito tropical. (Bajo la dirección de Alejandro Villa-Godoy y Everardo Gonzalez Padilla).**

Se estudiaron los efectos de la suplementación energética (S) y el amamantamiento sobre: 1) el balance energético (BE), 2) la endocrinología metabólica, y 3) el anestro posparto en 38 vacas de doble propósito (DP) en clima tropical. Se utilizó un arreglo factorial 2\*2; los factores fueron: 1) S (con o sin) y 2) Amamantamiento (con o sin). En el experimento I se registró diariamente el consumo y producción, y semanalmente la composición de la leche; se estimó el BE diario. La S y el amamantamiento, solos y asociados, aumentaron el consumo de ENL, la producción de leche y el BE. En el experimento II, en suero colectado cada 5 días se observó que la S aumentó las concentraciones de nitrógeno ureico, insulina, triyodotironina, tiroxina, y redujo las de ácidos grasos no esterificados (AGNE). El amamantamiento interactuó reduciendo la insulina y hormonas tiroideas en vacas sin S y aumentando los AGNE y nitrógeno ureico en las mismas. En el experimento III, mediante detección de celos, radioinmunoanálisis de progesterona y ultrasonido de estructuras ováricas se determinó que la S aceleró la actividad lútea aún en vacas amamantadas y favoreció las variables de desarrollo folicular. El amamantamiento interactuó con la S para retardar la presentación del estro. En conclusión, el pasto como única fuente de alimento, no permitió el consumo de energía requerida para sostener la lactación con un BE positivo, por lo que en vacas de DP el BE depende del consumo de energía y no del nivel de producción de leche. En la interacción que el amamantamiento y la S ejercen sobre la duración del anestro, la deficiencia energética afecta negativamente el desarrollo inicial de los folículos y su período de dominancia; mientras que el amamantamiento inhibe el desarrollo final del folículo.

## ABSTRACT

**Villagómez Amezcua Eugenio. Effects of suckling and diet in postpartum metabolic and reproductive physiology in cows in dual purpose tropical systems. (Directed by Alejandro Villa Godoy and Everardo González Padilla).**

The effects of energy supplementation (S or NS) and suckling (SK or NSK) on energy balance (EB), metabolic endocrinology (ME) and postpartum anestrus were studied in 38 cows in a tropical dual purpose system in a 2X2 factorial experiment. Energy intake (EI) and milk production (MP) were measured daily and EB was estimated. Metabolism was monitored by sera concentrations of insulin (INS), urea nitrogen (BUN), non-esterified fatty acids (NEFA), thyroxine ( $T_4$ ) and triiodothyronine ( $T_3$ ) in samples taken every 5 d. Ovarian function was monitored by ultrasound and progesterone levels. S and SK increased EI, MP and EB; SK in cows reduced INS,  $T_3$ ,  $T_4$ , and increased NEFA and BUN. There was a S X SK interaction on post-partum anestrus and luteal function; S reduced that period in SK cows and enhanced follicular development. Milk composition was affected by body condition. Tropical grasses alone in dual purpose systems can not provide enough energy to maintain lactation and a positive EB. S affects the initial follicular development and duration of dominance, while SK has more effect on the final phases of follicular growth.

## **DEDICATORIAS**

**Con profunda gratitud a mi padre, Ing. Antonio Villagómez, por su cariño y sólido ejemplo de honestidad y vocación profesional.**

**Con amor y admiración a mi madre, C. P. Guadalupe Amezcua, por su continuo apoyo, comprensión y ejemplo de perseverancia.**

**Con cariño a mis hermanos Mally, Alex, Mary y Toño cuya fortaleza y dedicación en lo familiar y lo profesional, han sido un continuo aliciente en el logro de mis metas personales.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Dr. Alejandro Villa Godoy con profunda gratitud por su amistad, valiosa orientación durante mi formación y acertada dirección en la realización de la presente tesis.**

**Al Dr. Everardo González Padilla, que además de sus consejos e invaluable asesoría, me otorgó confianza, apoyo y amistad, durante la ejecución de la presente investigación, que contribuyeron a culminar esta importante fase de mi vida.**

**A los miembros del Comité Tutorial: Doctores José Cuarón Ibarquengoitia, Juan de Dios Garza Flores, Heriberto Román Ponce, Carlos Vázquez Pelaez y Luis Zarco Quintero, les expreso mi más sincero agradecimiento por sus atinadas sugerencias, que indudablemente, enriquecieron la investigación y el escrito de la presente tesis.**

**A Juan Zárate M., Hugo Arellano M. y Lauro Virgen C. por su amistad y valiosa colaboración en las “maratónicas” actividades de campo y de captura de información.**

**A Alfonso Avila, Jorge Fajardo, Juvencio Lagunes, Isaías López, David Moreno Rico, Jesús Pérez S., Enrique Rivera, Jorge Rosete y Lucy Vásquez quienes de una u otra manera me otorgaron su invaluable apoyo para la realización del trabajo de campo.**

**A Laura Zapata S. por su amistad y consejos, además de su apoyo en las actividades de laboratorio.**

**A los Doctores Carlos Valverde y Carmen Aceves por su desinteresada amistad, apoyo técnico y orientación durante mi estancia en el Centro de Neurobiología de la UNAM.**

**Al todo el personal técnico que me brindó su apoyo en los laboratorios de el C. E. La Posta-INIFAP, CENID-Microbiología-INIFAP, CENI-Fisiología-INIFAP, FV-Universidad Veracruzana, Biología de la Reproducción-INNSZ, FMV y Z-UNAM y Centro de Neurobiología-UNAM.**

**Al todo el personal de apoyo y administrativo del Campo Experimental “La Posta”, así como a los estudiantes de servicio social y tesistas que hicieron posible la realización de la presente tesis.**

**Al CONACYT, INIFAP, PAIEPEME, Fundación Produce Veracruz por el financiamiento de mis estudios y de la investigación.**

## INTRODUCCIÓN

No se conoce con precisión el potencial genético para la producción de leche de las vacas destinadas al doble propósito de las regiones tropicales, pero es posible que tal producción sea limitada por el manejo nutricional de estos animales. Lo anterior se debe a que en general los pastos tropicales contienen menos proteína, mayor fibra, son menos digestibles y su consumo es menor que el de los pastos de climas templados (Ortega, 1990; Poppi y McLennan, 1995). Consecuentemente en este tipo de sistemas, las limitaciones nutricionales se deben más a la reducida calidad de los pastos tropicales que a la materia seca disponible. Esto dificulta satisfacer las demandas requeridas para producción de leche en las vacas de doble propósito, durante el período posparto temprano. Aunque el nivel de producción de leche está asociado negativamente con el balance energético estimado de los animales (Butler y col., 1981), se ha comprobado que la habilidad para consumir suficiente alimento es el factor que determina en primer grado el balance energético estimado en vacas productoras de leche (Villa-Godoy y col. 1988). En la literatura disponible, no existe información con respecto a la influencia de la capacidad de consumo voluntario de forrajes tropicales sobre el estado nutricional, ni los efectos que esto tiene sobre la producción y la reproducción de las vacas de doble propósito. Tampoco existen, a la fecha, estudios en los que el destete permanente de la vaca haya sido contrastado con la forma en que se controla tradicionalmente el amamantamiento en la ganadería de doble propósito, conocido en algunas regiones tropicales como "rejejería"; por lo anterior es pertinente estudiar las interacciones vaca-becerro y sus efectos sobre el consumo voluntario, la producción de leche y como estos factores pueden afectar el balance energético de las vacas, durante el período comprendido entre el parto y la primera ovulación.

Al inicio de la lactación se presentan alteraciones marcadas en la repartición de los nutrimentos y en el metabolismo general del animal (Bauman y Currie, 1980). La repartición de nutrimentos durante la lactación es regulada por complejas interacciones hormonales y mecanismos de comunicación entre los tejidos corporales y la glándula mamaria que involucran hormonas y metabolitos (Hart, 1979). Los conceptos para entender la regulación homeorrética durante la lactación, han surgido a partir de estudios que relacionan los eventos metabólicos con las concentraciones séricas de hormonas y de metabolitos (Convey, 1974; Trenkle, 1978). Esos

estudios han sido realizados en vacas lecheras de alta producción, mantenidas en clima templado, sin que existan trabajos diseñados para estudiar las variaciones endocrinas impuestas por la lactación y (o) el amamantamiento en vacas de doble propósito, en clima tropical. La insulina es una de las hormonas que coordinan el metabolismo de los nutrimentos y la repartición de energía en los diversos tejidos corporales (Sano y col. 1993). Existen evidencias de cambios en la concentración sanguínea de insulina y en la respuesta secretoria de la misma, durante distintos estados fisiológicos de las vacas lecheras (Sartin y col. 1988; Sartin y col. 1985; Vasilatos y Wangness, 1981). Con base en los cambios de la concentración sanguínea de hormonas tiroideas durante la lactación de vacas lecheras y su asociación con la producción de leche, se ha propuesto que dichas hormonas pueden tener un papel importante en la manutención del gasto de energía en funciones de alta prioridad, como lo es la lactación (Aceves y col. 1985; Hart y col. 1979; Tucker, 1988). Entre los metabolitos que han sido asociados con los cambios endocrinos observados durante la lactación temprana de vacas lecheras, están los ácidos grasos no esterificados relacionados con el metabolismo lipídico (Bauman y Currie 1980; Canfield y col. 1990); así como el nitrógeno ureico sanguíneo cuya concentración es alta durante el período posparto temprano y disminuye varias semanas después del parto (Carrol y col. 1988; Ferguson y col. 1988). Por otro lado se desconoce el efecto de la manipulación de la energía dietética, de la ordeña y (o) el amamantamiento sobre los cambios de hormonas y metabolitos durante la lactación de vacas de doble propósito.

El período posparto de las vacas de doble propósito se caracteriza por alargados períodos de anestro posparto (Rosete y col. 1993). En los sistemas de producción de carne, las vacas que tienen acceso a una nutrición adecuada durante el período preparto presentan intervalos de anestro más cortos que animales subalimentados (Wiltbank y col. 1964; Reardon y col. 1978). Así mismo, existen evidencias de que la condición corporal al parto (Osoro y col. 1992; Wrigth y col. 1992) y los cambios de peso y de condición corporal durante el período posparto (Rutter y col. 1984; Rakestraw y col. 1986), afectan tanto la duración del anestro como la tasa de concepción. En el caso de las vacas productoras de leche, se ha observado que el grado del balance energético negativo estimado durante el período posparto temprano, se correlaciona con los días a la primera ovulación (Butler y col. 1981), y que además existe una alta correlación entre los días al nadir del balance energético y los días a la primera ovulación (Canfield y Butler, 1990). El efecto negativo

del amamantamiento sobre el retorno a la actividad cíclica en el posparto ha sido ampliamente documentado en vacas productoras de carne Bos taurus (Williams y col. 1990) y de leche (Carrhuters y Hafs, 1980). En el caso de los sistemas de doble propósito, se emplean distintos esquemas para controlar el amamantamiento y aún así la duración del anestro posparto se prolonga de 126 a 375 días (Rosete y col. 1993; Villa-Godoy y Arreguín, 1993). Se ha postulado que el déficit energético acentúa el efecto negativo del amamantamiento sobre el comportamiento reproductivo posparto (Browning y col. 1994; Williams y col. 1990). Por la importancia que tienen el amamantamiento y la nutrición sobre el retorno a la actividad ovárica cíclica posparto, es necesario investigar las posibles interacciones de tales efectos sobre la actividad reproductiva de las vacas durante la lactancia.

Los objetivos del presente estudio fueron determinar los efectos sólo y asociados de la suplementación energética y del amamantamiento sobre: 1) el consumo voluntario, la producción y composición de la leche, la condición corporal y el balance energético diario de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical, 2) sobre las concentraciones de ácidos grasos no esterificados (AGNE), nitrógeno ureico sanguíneo (NUS), insulina, triyodotironina ( $T_3$ ) y tiroxina ( $T_4$ ) determinadas durante la lactancia y 3) las variaciones en el desarrollo de los folículos ováricos, la aparición del primer cuerpo lúteo y la duración del anestro posparto en vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical. Un objetivo colateral fue determinar las asociaciones entre las variables de producción, endocrinológicas y reproductivas de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical.

## REVISIÓN DE LITERATURA:

### *Vacas de doble propósito en clima tropical y anestro posparto*

En los sistemas de doble propósito, las vacas además de criar a un becerro hasta el destete producen leche extra para el consumo humano. Debido a tal dualidad productiva, el comportamiento reproductivo de estos animales durante el periodo posparto se caracteriza por intervalos de días abiertos aún más largos que los observados en el ganado productor de carne (Escobar y col. 1984; Rosete y col. 1993). Con base en información de los periodos interpartos, los servicios por concepción, así como la duración promedio de la gestación del ganado de doble propósito, Villa-Godoy y Arreguín (1993) estimaron que el anestro posparto dura 215 días en promedio, lo que significa que esta condición contribuye con el 72 % del periodo de días abiertos en el ganado de referencia, si se excluye el puerperio.

La generalidad de los estudios sobre el anestro posparto se ha realizado en vacas productoras de carne de origen europeo y con base en los resultados derivados de esas investigaciones, se sabe que la nutrición y el amamantamiento son los factores de mayor importancia que determinan la longitud de dicho parámetro (Dunn y Kaltenbach 1980; Short y col. 1990; Randel 1990).

### *Nutrición, condición corporal, y anestro posparto*

#### *Vacas productoras de carne.*

Se ha observado que vacas productoras de carne que tienen acceso a una buena nutrición durante el periodo preparto, presentan intervalos de anestro más cortos que animales subalimentados (Wiltbank y col. 1964; Reardon y col. 1978). También existen evidencias de que la condición corporal al parto (Osoro y col. 1992; Wrigth y col. 1992) y los cambios de peso y de condición corporal durante el periodo posparto (Rutter y col. 1984; Rakestraw y col. 1986) afectan tanto a la duración del anestro como las tasas de concepción. Varios autores han demostrado que si bien las pérdidas de condición corporal después del parto prolongan al anestro, sus efectos son amortiguados por una alimentación que permita a las vacas llegar al parto en una condición

corporal adecuada (Dunn y col. 1980; Richards y col. 1986; Short y col. 1990). Consecuentemente los efectos de la alimentación posparto sobre el anestro en vacas de carne, son menos pronunciados que los de la nutrición preparto y parecen ser dependientes del nivel de condición corporal al parto.

### Vacas productoras de leche

En contraste a las vacas productoras de carne, en el caso de las vacas lecheras, Butler y Smith (1989) demostraron que las pérdidas de condición corporal ( $>1.0$ ; en escala de 5 unidades) después del parto, ocasionan retrasos en la primera ovulación y en el primer estro con respecto a lo observado en vacas con pérdidas moderadas de condición (0.5 a 1). Otros estudios muestran que las vacas lecheras cuya grasa subcutánea se reduce por debajo de 7 mm durante la lactancia, presentan el primer estro posparto tardíamente con relación a las que mantienen 7 ó más mm de grasa subcutánea (Villa-Godoy y col. 1991). Además en los estudios antes mencionados, un porcentaje menor de vacas resultó gestante cuando su condición corporal se redujo severamente después del parto, con relación a vacas con pérdidas moderadas de condición. Como en el ganado productor de carne, en el de leche una mala condición corporal regida por las reservas energéticas del animal, afecta negativamente el inicio de la actividad ovárica cíclica en el periodo posparto.

### Balance energético

Una manera ideal para determinar el almacenamiento de energía y por lo tanto el balance energético en los animales y el hombre, puede realizarse calculando la diferencia entre la pérdida de calor determinada por calorimetría directa (sistemas descritos por Webb 1984 y McLean y Tobin, 1987) por un lado y la producción de calor determinada a partir del intercambio gaseoso (en cámara de respiración; McLean y Tobin, 1987) y la excreción de nitrógeno de la orina por otro (Blaxter, 1989). Desgraciadamente el costo de la infraestructura y la dificultad en el manejo de bovinos en tales cámaras, ha limitado la investigación en este campo. Asimismo, existen métodos alternativos para la estimación indirecta de la utilización de la energía y de la composición corporal, mediante el uso de radioisótopos como  $^{14}\text{CO}_2$ , agua tritiada ( $^3\text{H}_2\text{O}$ ) y

agua deuteriada ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ). Así por ejemplo, se ha desarrollado un método para bovinos en pastoreo, que permite determinar la producción de dióxido de carbono en los animales, mediante la administración a éstos de  $^{14}\text{CO}_2$  a velocidad y volumen constantes, colectando y midiendo posteriormente la actividad específica en una serie de muestras prefijada (Whitelaw, 1974). Al igual que con las técnicas que utilizan cámaras, los métodos antes mencionados presentan inconvenientes de manejo (por volumen) y que ocasionalmente los reactores nucleares, por cuestiones técnicas, paran la producción de los radioisótopos limitando en consecuencia la continuidad de estudios de larga duración (Laurenz y col. 1992). Un método que permite determinar, de manera indirecta y aproximada el estado energético de los bovinos, sin la utilización de infraestructura sofisticada, es el cálculo estimado del balance energético. El balance energético se define como el ingreso de energía menos el egreso de la misma. En el caso de vacas lecheras, diversos grupos de investigadores han realizado la estimación del balance energético, mediante ecuaciones en las que se sustrae la energía requerida para el mantenimiento y producción a partir de el consumo de energía contenida en la dieta. Entonces, en el cálculo y (o) estimación del balance energético se considera la densidad energética y digestibilidad de la de la dieta, el consumo de la misma y los requerimientos para mantenimiento y lactación, con base en los cambios de peso y la producción de los animales. Es quizá por lo anterior, que las variaciones en dicho indicador aproximado, muestre efectos consistentes sobre la reproducción (Nebel y McGilliard, 1993), a diferencia de cuando se consideran los diversos elementos de cálculo antes mencionados en forma aislada. En lo que resta del escrito, se hará referencia al balance energético determinado mediante el método antes mencionado.

### *Balance energético y anestro posparto*

Se ha observado que el grado del balance energético negativo estimado durante el período posparto temprano se correlaciona tanto con el nivel de producción de leche como con los días a la primera ovulación (Butler y col. 1981), observándose además una alta correlación entre los días al nadir del balance energético negativo y los días a la primera ovulación (Canfield y Butler,

1990). Por otro lado Villa-Godoy y col. (1988) observaron que el intervalo del parto al nadir del balance energético durante el período posparto, y la magnitud de dicho nadir interactuaron para reducir la concentración de progesterona del segundo y tercer ciclo estral posparto. Además, los animales que expresaron estro antes de la primera ovulación posparto tuvieron un mayor balance energético que las vacas que ovularon sin expresión del estro (Villa-Godoy, 1988). Con relación al desarrollo folicular durante el período posparto, Lucy y col. (1991) observaron que vacas en balance energético positivo tuvieron una mayor velocidad de crecimiento de folículos medianos y grandes, que de folículos pequeños en comparación con vacas en balance energético negativo.

#### *Nutrición y función del eje hipotálamo-hipófisis-ovario durante el anestro posparto.*

El mecanismo por el cual la desnutrición afecta la función reproductiva en el período posparto parece involucrar la regulación de la secreción de la hormona luteinizante (LH). En vacas productoras de carne la concentración basal de esta glicoproteína no es afectada por la alimentación preparto y posparto (Echternkamp 1982; Nolan 1988; Killen y col. 1989). Sin embargo el nivel de alimentación sí influencia la secreción pulsátil de LH tanto en animales intactos (Perry y col. 1991, Wright y col. 1992) como en vacas ovariectomizadas (Echternkamp, 1982). Los resultados del último autor pudieran sugerir que el nivel de alimentación puede ser independiente del mecanismo de retroalimentación de los esteroides ováricos; sin embargo en un estudio de la respuesta a dosis intermitentes de la hormona liberadora de gonadotropinas (GNRH), se observó una baja proporción de ovulación en vacas de carne sujetas a una restricción de energía dietética durante la gestación (Short y Adams 1988), lo cual indica una función disminuida de los ovarios de las vacas en casos de un estado energético insuficiente. Asimismo se ha observado que un inadecuado aporte energético afecta la velocidad de aparición de folículos grandes de vacas productoras de carne en el anestro posparto (Perry, 1991) y el número de ondas foliculares durante el ciclo estral de vaquillas (Murphy, 1991), en relación a animales bien alimentados.

### *Endocrinología metabólica durante el período posparto y el anestro.*

Dependiendo de la duración y la severidad de una nutrición inadecuada, es posible que la disfunción hipofisiaria y ovárica observada en los estudios mencionados en el apartado anterior, sea regulada por cambios en algunos metabolitos o en ciertas hormonas metabólicas, en forma de señales dirigidas al sistema nervioso central. Alternativamente, la desnutrición pudiera alterar la disponibilidad de factores intraováricos en combinación con metabolitos y hormonas metabólicas que ejercen parte de sus acciones en los ovarios.

Algunos de los metabolitos que pudieran actuar como mediadores de las funciones reproductivas cuando hay un estado energético deficiente en los animales durante el período posparto y que han recibido especial interés por distintos grupos de investigadores son: los ácidos grasos no esterificados (Canfield y Butler, 1991), la glucosa (Garmendia, 1986; Carstairs y col. 1980; Rutter y Manns, 1987), el propionato (Randel y Rhodes, 1980), los triglicéridos y el colesterol (Williams, 1989); sin embargo aún se desconoce cual o cuales de los componentes bioquímicos antes mencionados afectan la reproducción, así como la manera en que dichas moléculas vinculan el estado nutricional del animal con su actividad reproductiva en el período posparto, por lo que aún es necesario realizar investigación en este campo.

### *Ácidos grasos no esterificados (AGNE)*

De los metabolitos estudiados en relación a la reproducción, la alta concentración de AGNE ha sido asociada con una baja fertilidad (Ducker y col. 1985 b). Además la adición de AGNE a albúmina sérica bovina libre de lípidos, redujo la unión de progesterona a la albúmina (Ramsey y Wesphal, 1978), lo cual in vivo puede resultar en un mayor tasa catabólica de la progesterona libre en el torrente sanguíneo. Por otro lado, en un estudio a nivel molecular, se observó que los AGNE de cadena larga inhiben la unión de triyodotironina (T<sub>3</sub>) a sus receptores nucleares en distintos órganos de la rata, entre ellos el testículo (Inoe y col. 1989). Como se discutirá posteriormente, en la investigación reproductiva está adquiriendo nuevamente importancia el estudio del papel de las hormonas tiroideas y en virtud del incremento de los AGNE observado generalmente en vacas durante el período posparto temprano, aunado al hallazgo de Inoe y col.

(1989), es conveniente estudiar los efectos sólo y (o) asociados de los AGNE y las hormonas tiroideas sobre la función reproductiva de las vacas durante el período posparto.

#### Nitrógeno Ureico Sérico

Como se mencionó anteriormente, al inicio de la lactación las vacas lecheras están generalmente en un balance energético negativo (Nebel y McGilliard, 1993) además de que suele presentarse un desbalance nitrogenado, lo que induce que las vacas movilicen la energía del tejido corporal y posiblemente algo de masa muscular proteica para apoyar la producción de leche (Oldham, 1984). La evidencia que relaciona la movilización de masa muscular antes mencionada es indirecta; así por ejemplo un aumento en el suministro de aminoácidos a vacas en balance energético negativo (estimado) incrementa la producción de leche, movilizándose posiblemente tejido corporal adicional (Oldham, 1984). La cuantificación de la excreción de 3-metilhistidina en orina, es un método utilizado como índice de la degradación de la proteína miofibrilar del músculo (Waterlow y Jackson, 1978) y puede por lo tanto ayudar a determinar si, además de el recambio proteico normal del organismo, la remoción de masa muscular es una fuente importante de energía para producción de leche durante el inicio de la lactación de bovinos. Otro indicador del metabolismo nitrogenado en respuesta a distintas condiciones dietéticas es el nitrógeno ureico sérico (NUS). Así por ejemplo, estudios con borregos en crecimiento privados de alimento, agua y (o) estresados por el transporte, presentan elevadas concentraciones de NUS al final del período de privación/estrés y bajas concentraciones 5 a 14 días después de la realimentación (Cole y Hutcheson, 1985; Cole y col. 1993). La disminución de la concentración del NUS puede ser indicativa de una utilización más eficiente del nitrógeno (Hovell y col. 1983; Cole y Hutcheson, 1988, Cole y Hallford, 1994). Sin embargo, un aumento en la concentración sanguínea del NUS también se observó cuando se suministró una dieta alta en proteína a vacas de carne amamantantes en comparación con la dieta control, debido quizá a un incremento en la absorción del amoniaco ruminal y su posterior detoxificación en el hígado a urea (Rusche y col. 1993).

*Eje Insulina- Hormona del crecimiento(ST)-Factor del crecimiento parecido a la insulina-1(IGF-1)*

Referente a la investigación de hormonas metabólicas, existe evidencia de que las concentraciones de insulina varían en vacas durante el período posparto (Canfield y Butler, 1991) y además esta hormona ha sido relacionada al estado energético de los animales en distintos estados fisiológicos (McCann y Reimers, 1986; Verde y Trenkle, 1987, Villa-Godoy y col. 1990). Así por ejemplo en vacas europeas lactando, las concentraciones de insulina declinan inmediatamente después del parto para retornar a valores similares a los del preparto, a medida que transcurre el tiempo posparto (Hart y col. 1978). Por otro lado, Harrison y Randel (1986), al tratar vaquillas con insulina cuando se encontraban en un estado energético deficiente, observaron un incremento en la proporción de ovulaciones de los animales. Se ha sugerido que la insulina ejerce su acción sobre el tejido ovárico de manera similar que la gonadotropinas (Butler y Canfield, 1989). En apoyo a lo anterior, se ha observado que la insulina actúa de manera sinérgica con la FSH en la diferenciación morfológica de las células de la granulosa e incrementa la unión de LH a sus receptores (Amsterdam y col. 1988). Además la insulina actúa sola o sinérgica con la hCG para estimular las células tecales y la producción de andrógenos (Hernández y col. 1988). Por lo tanto, un incremento en la concentración de insulina en vacas cuyo balance energético deja de ser deficitario, pudiera aumentar la respuesta ovárica a la secreción de LH sin alterar la concentración sérica o la frecuencia de pulsos en que es liberada la glicoproteína (Canfield y Butler, 1991). También existen evidencias de que la insulina actúa a nivel de los centros neurales (Porte y Woods, 1981), pudiendo por lo tanto mediar la normalización de la secreción de LH cuando el animal comienza a superar un estado de déficit energético. Conviene recordar que las concentraciones de insulina son moduladas por metabolitos como la glucosa (Garmendia, 1986) y los ácidos de cadena corta que se producen en el rumen (McAtee y Trenkle 1971); por lo que es posible que los procesos reproductivos en el período posparto dependan de las acciones conjuntas entre metabolitos y hormonas metabólicas. En apoyo a lo anterior, Elsasser y col (1989) sugirieron que durante una restricción nutricional severa se desajusta el funcionamiento del eje insulina-hormona del -crecimiento(ST)-factor del crecimiento parecido a la insulina-1(IGF-1), por

lo que es importante considerar también la relación de la ST y el IGF-1 con ciertos aspectos reproductivos y de producción. En estudios con la ST, Advis y col. (1981) demostraron que una reducción en su concentración sérica retardó el inicio de la pubertad en ratas, lo cual fue mediado en parte por el decremento en el número de receptores ováricos a LH. Simpson y col. (1991) al inmunizar activamente contra el factor liberador de ST, retardaron el inicio de la pubertad en vaquillas. En el caso de animales adultos ciclando, el tratamiento con ST recombinante indujo un incremento en la progesterona circulante durante los dos ciclos estrales subsecuentes al tratamiento (Shemm y col, 1990; Gallo y Block, 1991). En los estudios antes mencionados se propuso que las acciones de la ST son mediadas por el IGF-1. Se ha sugerido que el IGF-1 puede ser un mediador potencial del estado energético de las vacas sobre la actividad ovárica (Ronge y col. 1988 ), ya que existen evidencias de que dicho factor juega una papel importante en la esteroidogénesis (Adashi y col., 1985); además se ha observado una reducción en la concentración sérica de IGF en respuesta a una restricción nutricional (Rutter y col 1989). Asimismo, resultados de estudios para determinar el efecto del balance energético estimado sobre la concentración periférica de IGF-1, indican una correlación significativa entre estas dos variables (Spicer y col. 1990). Sin embargo a la fecha, no se ha logrado detectar variaciones en la concentración sanguínea o folicular de IGF-1 que puedan estar relacionadas con los cambios en la función folicular debidos a variaciones nutricionales (Rutter y Manns, 1991, Spicer y col., 1991).

#### Hormonas tiroideas

Existen evidencias de que la función tiroidea es afectada por el tipo de dieta y (o) el estrés ambiental (Smith y col. 1993; Owen y col. 1979). Se ha observado que la conversión de tiroxina ( $T_4$ ) en triyodotironina ( $T_3$ ), que es la forma activa de la hormona, disminuye durante el ayuno, a la vez que aumenta la conversión de  $T_4$  en  $T_3$  reversa ( $rT_3$ ), la cual es una forma menos activa de la hormona tiroidea (Gardner y col. 1979). Es posible que la concentración de  $T_3$  en el cerebro esté controlada por la velocidad de desiodación de la  $T_4$  en las células de la corteza cerebral y del cerebro, lo cual sugiere una extensión aún mayor del modo de control de las hormonas tiroideas (Bleech y Moore, 1982). Las modificaciones a los cocientes  $T_4/T_3$  y  $T_3/rT_3$  los cuales son a su

vez reflejo de demandas metabólicas, quizá afecten de alguna manera la función reproductiva de los bovinos. En el caso de los humanos se está estudiando el efecto de las hormonas tiroideas sobre la reproducción y se han obtenido evidencias de que las hormonas tiroideas pueden afectar de manera directa la función ovárica (Wakin y col. 1993; Bhattacharya y col. 1989). En relación a estudios tendientes a determinar la influencia de las estaciones sobre la fisiología de animales bovinos, Pérez y Fernández (1989) en Cuba, observaron un efecto de la estación cálida sobre las hormonas tiroideas de vaquillas Hostein. En contraste, en un estudio realizado con vacas europeas y sus cruces con cebú, mantenidas en el trópico, no se observó un efecto de la estación cálida sobre la función tiroidea (Hernández y col. 1984). Cabe mencionar que en el último estudio, se utilizaron distintos animales en las épocas de estudio, lo cual puede explicar, al menos parcialmente, la discrepancia. Debido a la importancia que tiene la función tiroidea en las adaptaciones metabólicas a cambios nutricionales y (o) a cambios en el ambiente climático, es necesario conocer los perfiles endocrinos de las distintas formas iodadas de la hormona tiroidea en respuesta a diversas circunstancias ambientales y su relación con la reproducción bovina.

### *Amamantamiento y anestro posparto*

#### *Amamantamiento y la función del eje hipotálamo-hipófisis-ovario*

El efecto negativo del amamantamiento sobre el retorno a la actividad cíclica en el posparto ha sido ampliamente documentado en vacas productoras de carne Bos taurus (Williams y col. 1990). El retraso que se observa en vacas amamantando para reiniciar el patrón normal de liberación de LH se asume que, al igual que en vacas con déficit energético durante el período posparto, es principalmente dependiente de mecanismos centrales relacionados con las neuronas que contienen GnRH. La formación de folículos antrales durante el posparto temprano sugiere que la secreción de FSH no es deficiente, además de que la concentración de FSH durante el período posparto no difiere entre vacas bien alimentadas y las subalimentadas (Perry y col. 1991). La liberación de gonadotropinas es inicialmente controlada por la unión de GnRH a receptores específicos en la pituitaria anterior (Braden y col. 1991). GnRH induce diversas respuestas celulares incluyendo la

biosíntesis de LH, ya que estimula la producción de mRNA para la subunidad beta (Braden y col. 1991). La ovulación del primer folículo dominante observada en diversos estudios en respuesta a análogos de la GnRH, sugiere que hay un adecuado proceso de almacenamiento de LH en la pituitaria durante el posparto temprano (Crowe y col. 1993). Por lo anterior, se puede asumir que el efecto negativo del amamantamiento sobre la función reproductiva, debe actuar principalmente a nivel hipotalámico y no a nivel hipofisiario. Se sabe que el destete incrementa la respuesta de la pituitaria a GnRH, con lo que aumenta la secreción pulsátil de LH (Walters y col. 1982a,b; Shively y Williams 1989), permitiendo así una normalización de la actividad ovárica cíclica en vacas durante el período posparto. Existen evidencias que indican que durante el anestro posparto los esteroides ováricos interactúan con el amamantamiento para inhibir la secreción de LH (Acosta y col. 1983; Rund y col. 1989), pues el amamantamiento produce un incremento en la sensibilidad de los centros tónicos hipotalámicos a los efectos de retroalimentación negativa ejercidos por la baja concentración de estrógenos circulantes, observados durante el período de anestro posparto (Acosta y col., 1983). Se ha comprobado que esta acción es llevada a cabo directamente por los péptidos opioides (PO; Malven y col., 1984; Gabriel y col., 1986); no obstante, existen evidencias que los PO actúan de manera independiente al estradiol, ya que se ha observado que en las vacas sin becerro ovariectomizadas, la aplicación de Naloxona (antagonista de los PO) indujo una mayor concentración de LH (Rund y col. 1989). Por otro lado, la aplicación de naloxona sólo y en combinación con progesterona disminuyó el intervalo del parto a la formación del primer cuerpo lúteo vacas cebú (Arreguín y col. 1995); asimismo, la aplicación de una o tres inyecciones de naloxona acortó la duración del anestro posparto de vacas de doble propósito (Rosete y col., 1993)

#### Manejo del amamantamiento y anestro posparto

Existen estudios, en su mayoría con ganado de carne, en los cuales se han evaluado el efecto de diversos métodos de restricción del amamantamiento sobre el anestro posparto (Villagómez y Fajardo, 1990). Bajo condiciones del trópico mexicano, se ha estudiado el amamantamiento

restringido (amamantamiento restringido por 1 o 2 veces al d), el destete temporal y precoz, ya sea en forma separada o en sus diferentes combinaciones ( Salcedo y col. 1977; Escobar y col.1984; Córdova y col. 1982; Rodríguez y col. 1982a,; Rodríguez y col. 1982b, Piña y col. 1986). Sin embargo los resultados no han sido consistentes con respecto al efecto benéfico de tales métodos, sobre la fertilidad de las vacas en el período posparto y las diferencias pueden ser atribuidas al momento durante el cual se realizaron los tratamientos, la duración de los mismos y la condición corporal de los animales. No existen a la fecha estudios, en los que los diversos esquemas de manejo del amamantamiento propuestos, hayan sido contrastados con la forma en que se controla tradicionalmente el amamantamiento en la ganadería de doble propósito conocido como "rejejería", por lo que es pertinente estudiar las interacciones vaca-becerro, ya que a pesar de que los sistemas de doble propósito implican el uso de los múltiples esquemas para controlar el amamantamiento, la duración del anestro posparto se prolonga de 126 a 375 días (Rosete y col. 1993; Villa-Godoy y Arreguín , 1993)

#### *Interacción del amamantamiento y la nutrición sobre el anestro posparto*

Como se mencionó anteriormente la restricción de la energía de la dieta y el agotamiento de las reservas de energía corporal (condición corporal) alargan el anestro posparto en vacas productoras de carne y retrasan la ovulación en las de leche. Por lo tanto, se postula que el déficit energético acentúa el efecto negativo del amamantamiento sobre el comportamiento reproductivo posparto. En apoyo a lo anterior, Whisnant y col (1985) observaron que vacas subalimentadas tuvieron una menor frecuencia de pulsos durante el período posparto que vacas bien alimentadas, pero este efecto sólo estuvo presente durante el amamantamiento o un día después de la remoción del becerro, ya que desapareció dos días después de la separación del mismo. Lo anterior sugiere que el efecto de la desnutrición interactúa con el amamantamiento para suprimir la frecuencia de los pulsos de LH. Sin embargo, Browning y col. (1994) observaron que vacas cebú sujetas a amamantamiento controlado (1 X día) tuvieron un intervalo del parto al reinicio de la actividad ovárica más corto que vacas amamantando todo el tiempo, pero no se observó una interacción entre el manejo del amamantamiento y el nivel de nutrición (alto y bajo) proporcionado a los animales. Lo anterior se puede deber a que el nivel de alimentación bajo, estuvo cerca de

satisfacer las necesidades nutricionales recomendadas para estos animales, por lo cual no se logró determinar el efecto combinado de ambos tratamientos. En contraste, en un estudio realizado con vacas de la misma especie, se observó que cuando las vacas presentaron una buena condición corporal al parto (7.8 puntos), el amamantamiento del becerro una o dos veces al día disminuyó la duración del anestro; sin embargo, cuando las vacas presentaron una baja condición corporal al parto (3.7 puntos), sólo el amamantamiento del becerro, una vez al día, logró disminuir el intervalo del parto al primer estro (Santos, 1997). Por la importancia que tienen el amamantamiento y la nutrición sobre el retorno a la actividad ovárica cíclica en el anestro posparto, es necesario investigar las posibles interacciones de tales efectos sobre la actividad reproductiva de las vacas durante el período posparto. Las vacas de doble propósito representan un modelo ideal para investigar aspectos de amamantamiento y nutrición, debido a sus características productivas, de alimentación y de manejo de la unidad vaca-cría, discutidas al inicio del presente escrito.

## **HIPÓTESIS**

- La influencia de la dieta consistente en forrajes sin suplementación energética, provoca un desbalance energético que establece un estado metabólico, bajo control homeorrético, cuyo resultado es el de apoyar la síntesis de leche y reducir la disponibilidad de hormonas y nutrimentos requeridos para la reproducción.
- La duración del balance energético negativo (BEN), la magnitud (nadir) del BEN, así como el tiempo a el balance energético (BE 0) es mayor en vacas de doble propósito cuya dieta consiste en forrajes tropicales que en aquéllas con una dieta adecuada a sus necesidades de mantenimiento y producción.
- La dieta consistente en forrajes sin suplementación energética induce un incremento de las concentraciones séricas de ácidos grasos no esterificados y nitrógeno ureico, pero provoca un descenso en las concentraciones de insulina y hormonas tiroideas ( $T_3$  y  $T_4$ ).

satisfacer las necesidades nutricionales recomendadas para estos animales, por lo cual no se logró determinar el efecto combinado de ambos tratamientos. En contraste, en un estudio realizado con vacas de la misma especie, se observó que cuando las vacas presentaron una buena condición corporal al parto (7.8 puntos), el amamantamiento del becerro una o dos veces al día disminuyó la duración del anestro; sin embargo, cuando las vacas presentaron una baja condición corporal al parto (3.7 puntos), sólo el amamantamiento del becerro, una vez al día, logró disminuir el intervalo del parto al primer estro (Santos, 1997). Por la importancia que tienen el amamantamiento y la nutrición sobre el retorno a la actividad ovárica cíclica en el anestro posparto, es necesario investigar las posibles interacciones de tales efectos sobre la actividad reproductiva de las vacas durante el período posparto. Las vacas de doble propósito representan un modelo ideal para investigar aspectos de amamantamiento y nutrición, debido a sus características productivas, de alimentación y de manejo de la unidad vaca-cría, discutidas al inicio del presente escrito.

### **HIPÓTESIS**

- La influencia de la dieta consistente en forrajes sin suplementación energética, provoca un desbalance energético que establece un estado metabólico, bajo control homeorrético, cuyo resultado es el de apoyar la síntesis de leche y reducir la disponibilidad de hormonas y nutrimentos requeridos para la reproducción.
- La duración del balance energético negativo (BEN), la magnitud (nadir) del BEN, así como el tiempo a el balance energético (BE 0) es mayor en vacas de doble propósito cuya dieta consiste en forrajes tropicales que en aquéllas con una dieta adecuada a sus necesidades de mantenimiento y producción.
- La dieta consistente en forrajes sin suplementación energética induce un incremento de las concentraciones séricas de ácidos grasos no esterificados y nitrógeno ureico, pero provoca un descenso en las concentraciones de insulina y hormonas tiroideas ( $T_3$  y  $T_4$ ).

-Los cambios en las concentraciones séricas de ácidos grasos no esterificados, nitrógeno ureico, insulina, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, están asociados con las variaciones en el desarrollo folicular y en la duración del anestro posparto.

-El amamantamiento con permanencia del becerro por siete horas con la madre, alarga el período de anestro posparto de las vacas de doble propósito en comparación con el de las vacas separadas del becerro inmediatamente después del parto.

-Existen interacciones entre el nivel energético de la dieta y el amamantamiento que afectan la duración del intervalo del parto al estro.

### **OBJETIVOS.**

1.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre el consumo voluntario, la producción y composición de la leche, la condición corporal y el balance energético diario de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical

2.-Caracterizar los cambios en el balance energético durante el período posparto de vacas de doble propósito.

3.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre las variables del balance energético de vacas de doble propósito.

4.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre las concentraciones séricas de insulina, las hormonas tiroideas (T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>), el nitrógeno ureico y los ácidos grasos no esterificados de vacas de doble propósito.

5.-Determinar el efecto de la dieta sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

6.-Determinar el efecto del amamantamiento sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

7.-Probar el efecto de la interacción entre la dieta y el amamantamiento sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

-Los cambios en las concentraciones séricas de ácidos grasos no esterificados, nitrógeno ureico, insulina, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, están asociados con las variaciones en el desarrollo folicular y en la duración del anestro posparto.

-El amamantamiento con permanencia del becerro por siete horas con la madre, alarga el período de anestro posparto de las vacas de doble propósito en comparación con el de las vacas separadas del becerro inmediatamente después del parto.

-Existen interacciones entre el nivel energético de la dieta y el amamantamiento que afectan la duración del intervalo del parto al estro.

### **OBJETIVOS.**

1.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre el consumo voluntario, la producción y composición de la leche, la condición corporal y el balance energético diario de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical

2.-Caracterizar los cambios en el balance energético durante el período posparto de vacas de doble propósito.

3.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre las variables del balance energético de vacas de doble propósito.

4.-Determinar los efectos sólo y asociados de la dieta y el amamantamiento sobre las concentraciones séricas de insulina, las hormonas tiroideas (T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>), el nitrógeno ureico y los ácidos grasos no esterificados de vacas de doble propósito.

5.-Determinar el efecto de la dieta sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

6.-Determinar el efecto del amamantamiento sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

7.-Probar el efecto de la interacción entre la dieta y el amamantamiento sobre el patrón de crecimiento folicular y la duración del anestro posparto.

8.-Determinar la asociación de las variaciones entre las concentraciones séricas de insulina, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, nitrógeno ureico y ácidos grasos no esterificados con el consumo voluntario, balance energético, el patrón de desarrollo folicular y la duración del anestro en vacas de doble propósito.

## **EXPERIMENTO I:**

**EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGIA  
METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN  
SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO TROPICAL: I.- CONSUMO  
VOLUNTARIO, PRODUCCIÓN DE LECHE Y BALANCE ENERGÉTICO .**

# **EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGIA METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO TROPICAL: I.- CONSUMO VOLUNTARIO, PRODUCCIÓN DE LECHE Y BALANCE ENERGÉTICO .**

## **INTRODUCCIÓN**

En las regiones tropicales y subtropicales la producción de leche se obtiene de razas bovinas no especializadas, bajo condiciones de sistemas de manejo y alimentación extensivos y semi-intensivos (Mc Dowell, 1972, Gozález-Padilla, 1993). No se conoce con precisión el potencial genético para la producción de leche de vacas de doble propósito de las regiones tropicales, pero es posible que tal producción sea limitada por el manejo nutricional de estos animales. Lo anterior se debe a que en general los pastos tropicales contienen menos proteína, mayor fibra, son menos digestibles y su consumo es menor que el de los pastos de climas templados (Ortega, 1990; Poppi y McLennan, 1995). Consecuentemente en este tipo de sistema, las limitaciones nutricionales se deben más a la reducida calidad de los pastos tropicales que a la materia seca disponible. Esto dificulta satisfacer las demandas requeridas para producción de leche en las vacas de doble propósito durante el período posparto temprano. Aunque el nivel de producción de leche está asociado negativamente con el balance energético estimado de los animales (Butler y col., 1981), se ha comprobado que la habilidad para consumir suficiente alimento es el factor que determina en primer grado el balance energético estimado en vacas productoras de leche (Villa-Godoy y col. 1988). En la literatura disponible, no existe información con respecto a la influencia de la capacidad de consumo voluntario de forrajes tropicales sobre el estado nutricional, ni los efectos que esto tiene sobre la producción y la reproducción de las vacas de doble propósito. Tampoco existen a la fecha estudios en los que el destete inmediatamente después del parto, haya sido contrastado con la forma en que se controla tradicionalmente el amamantamiento en la ganadería de doble propósito, conocido en algunas regiones tropicales como "rejeguera"; por lo anterior es pertinente estudiar las interacciones vaca-becerro y sus efectos sobre el consumo voluntario, la producción de leche y como estos factores pueden afectar el balance energético de las vacas durante el período comprendido entre el parto y la primera ovulación. Las vacas de doble

propósito representan un modelo ideal para investigar aspectos de amamantamiento y nutrición, debido a sus características productivas, de alimentación y de manejo de la unidad vaca-cría.

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos sólo y asociados de la suplementación energética y del amamantamiento sobre el consumo voluntario, la producción y composición de la leche, la condición corporal y el balance energético diario de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical

## **MATERIAL Y MÉTODOS.**

### Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría:

Se utilizaron 38 vacas recién paridas (con 2 ó más partos) de la cruce entre Bos taurus y Bos indicus, con una proporción de sangre de 50 a 75% de la raza Pardo Suizo americano o de la Holstein. Todos los animales se mantuvieron bajo condiciones controladas hasta el segundo parto, siendo asignados al azar a cuatro grupos derivados de un arreglo factorial 2 X 2, cuyos factores principales fueron la alimentación y el amamantamiento.

La combinación de tratamientos fué:

NS-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje tropical y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

NS-NA =Vacas con dieta similar a la anterior y sin amamantamiento del becerro (n=9).

S-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje tropical más suplementación energética y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

S-NA =Vacas con dieta similar a la del tratamiento previo y sin amamantamiento del becerro (N=9).

Para evitar deficiencias de proteína que enmascararan los efectos de la variación de las dietas en cuanto a su contenido energético, se ofreció a las vacas que consumieron sólo forraje, harina de carne (39% de proteína cruda), en una cantidad que permitiera aproximadamente un 10 % de rechazo de la misma; la harina de carne fué la principal fuente de proteína del suplemento energético. Las vacas fueron alojadas en corrales individuales de aproximadamente 7 m<sup>2</sup>, con área techada y piso de concreto, más un espacio sin techo y piso de arena; todos los corrales tuvieron comederos para pasto y para el suplemento por separado, así como bebederos. Las vacas tuvieron libre acceso a sales minerales y agua. Todas las vacas recibieron una vez al día y a la misma hora

pasto estrella de África en cantidades que permitieran aproximadamente un 10 % de rechazo. El pasto fué fertilizado, regado y cortado en función de la época del año, simulando al sistema de pastoreo rotacional intensivo (Canudas, 1995), con el fin de ofrecer a las vacas pastura en un estado fenológico óptimo desde el punto de vista nutricional. En un inicio, el suplemento energético se calculó con base a las necesidades de mantenimiento y producción de una vaca con un peso de 500 Kg y una producción de 20 kg de leche. Los ingredientes del concentrado energético fueron maíz molido (44.4%), harina de carne (29.65%), pulido de arroz (15.99%), melaza de caña (8%), sal común (0.79%) y sales minerales (Superbayphos de Bayer; 0.79%); con base en el análisis proximal de los distintos lotes de la mezcla (Tejada, 1985), se calculó que el concentrado energético contuvo 1.55 Mcal de energía neta de la lactación (ENL) y 18 % de proteína cruda por kg de suplemento energético. El suplemento energético fué ofrecido una vez al día, después de la ordeña matutina y de la observación de celos. Los criterios para ajustar el consumo individual del suplemento energético fueron el rechazo del mismo, la producción de leche y los cambios de condición corporal. Con el fin de determinar el consumo diario de alimento, durante todo el experimento se registró el peso del forraje y del suplemento ofrecidos y rechazados.

Los becerros de las vacas asignadas a los tratamientos NS-NA y S-NA, fueron separados en un término de tiempo igual o menor a las 6 horas posparto. Dichas vacas fueron ordeñadas dos veces al día (05:00 y 15:00 h) a partir del primer día posparto (con el fin de determinar la producción de calostro) y se registró el peso de la leche ordeñada hasta el fin de estudio.

En los tratamientos NS-A y S-A los becerros permanecieron con las vacas por 7 h/día y éstas fueron ordeñadas una sóla vez al día (05:00 h) simulando el manejo de "rejejería tradicional" del trópico mexicano, en el cual no existe el amamantamiento controlado, y dando el descanso requerido de la glándula mamaria. Con el fin de estimar la leche consumida por los becerros se registró su peso antes y después de cada evento de amamantamiento. Para lo anterior, los becerros fueron pesados por primera vez al día, inmediatamente antes de reunirlos con su madre durante la ordeña matutina para el apoyo y su amamantamiento. Después los becerros se pesaron nuevamente y fueron conducidos al corral de la madre, mientras se realizaba el manejo de detección de celos de las vacas y de las actividades experimentales correspondientes al día en turno. Al finalizar lo anterior, las vacas eran conducidas a su corral individual para iniciar el

consumo de su dieta y el becerro permaneció con su madre hasta las 15:00. Se evitó el acceso del becerro al comedero y bebedero de la vaca mediante una cuerda con bozal, que permitió el contacto del becerro con la vaca, su libre movimiento y facilitó el manejo para pesajes consecutivos. La producción de las vacas de los tratamientos NS-A y S-A fué considerada como la leche registrada durante la ordeña a través del estudio y la estimada como consumo del becerro.

#### Mediciones de peso y condición corporal.

Las vacas fueron pesadas quincenalmente a partir del parto y siempre a la misma hora (después de la ordeña de las 05:00 h). Por otro lado, cada siete días se determinó su condición corporal por dos evaluadores con experiencia y de acuerdo a una escala de 5 puntos (donde 0=muy flaca, 5=obesa, incluyendo puntos intermedios; Pedrón y col., 1993), mediante exámen visual y la palpación de la zona lumbar y del área que circunda el maslo de la cola.

#### Toma de muestras y análisis de alimento y leche.

Se obtuvieron muestras diarias del pasto ofrecido y del rechazado para determinación de su contenido de materia seca (MS); a una alícuota semanal de MS se le determinó su composición química mediante análisis proximal (Tejada, 1985). Al final del experimento se determinó el total de nutrientes digestibles del pasto, a partir de alícuotas semanales mediante la técnica de digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO; Moore y Mott, 1974) y el contenido de proteína total del pasto mediante un equipo Tecator previamente calibrado.

Para determinar la composición de la leche, se tomaron cada 7 días alícuotas con aproximadamente el 1 % de la producción de leche total de cada animal, mezclada en una cubeta de la ordeña matutina y se analizaron en forma individual para contenido de grasa con un equipo Milkotester previamente calibrado y para el contenido de proteína mediante la técnica Kjeldahl (Tejada, 1985).

#### Estimación del balance energético.

Se estimó el balance energético diario de todos los animales durante su permanencia en el experimento, a partir de la producción diaria de leche y su contenido de grasa de la muestra semanal, el peso corporal estimado por interpolación de los pesajes quincenales, el consumo diario de MS y la energía neta de la lactación (ENL), calculada en el consumo diario de pasto, suplemento energético y la harina de carne consumida por las vacas de los tratamientos NS-A y NS-NA, utilizando la siguiente ecuación:



**Balance Energético= (EN<sub>consumida</sub> - EN<sub>requerida</sub> ), en donde:**

$$EN_{consumida} = ENI / \text{kg de MS} \times \text{consumo total de MS (kg)}$$

$$EN_{requerida} = P. C. \cdot 75 (.08) + EN_{leche}$$

$$EN_{leche} = 74[\text{leche (kg)} \times 0.4 + \text{grasa en leche (kg)} \times 1.5]$$

#### Análisis estadístico.

Debido a que las vacas estuvieron en el estudio hasta la presentación del segundo estro posparto y duración media del anestro fué desde 68 días en las vacas suplementadas y no amamantadas hasta 245 días en las no suplementadas y con becerro, fué necesario dividir el análisis en cuatro periodos de 60 días cada uno.

Para el análisis estadístico se empleó un análisis de varianza con observaciones repetidas en el animal a través del tiempo (Littell y col. 1998), usando el procedimiento de modelo lineal (SAS, 1989).

El modelo al cual se le atribuye el total de la variación es representado como:

$$y = \mu + S_i + A_j + SA_{ij} + V_{(ij)k} + \delta_{(ijk)} + T_l + ST_{il} + AT_{jl} + SAT_{ijl} + VT_{(ij)kl} + \sum_{(ijkl)m}$$

Donde:  $y$  es el consumo diario de MS del pasto ó el consumo de MS total ó el consumo de ENI del pasto más suplemento ó la producción diaria total de leche ó el contenido semanal de grasa ó el contenido semanal de proteína ó la condición corporal semanal ó el balance energético diario en el  $i$ -ésimo suplemento energético y el  $j$ -ésimo amamantamiento de la  $k$ -ésima vaca en el  $l$ -ésimo tiempo.

$\mu$  : Es la media teórica de la población.

$S_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo suplemento energético ( con o sin suplemento energético).

$A_j$ : Efecto del  $j$ -ésimo amamantamiento (con o sin amamantamiento del becerro).

$SA_{ij}$ : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suplemento con el  $j$ -ésimo amamantamiento.

$V_{(ij)k}$ : Efecto de la j-ésima vaca dentro del i-ésimo suplemento energético y el j-ésimo amamantamiento.

$\delta_{(ijk)}$ : Error de restricción.

$T_l$ : Efecto del l-ésimo tiempo (días, semanas)

$ST_{lk}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo suplemento con el l-ésimo tiempo.

$AT_{jl}$ : Efecto de la interacción del j-ésimo amamantamiento con el l-ésimo tiempo.

$SAT_{ijl}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo suplemento con el j-ésimo amamantamiento en el l-ésimo tiempo.

$VT_{(ij)kl}$ : Efecto de la vaca dentro del l-ésimo tiempo.

$\Sigma_{(ijkl)m}$ : Error aleatorio con distribución NID  $(0, \sigma^2)$

Los contrastes entre medias se realizaron por la prueba de comparaciones múltiples de medios mínimos cuadráticos (SAS, 1989). La condición corporal al parto resultó significativa en el primer período de algunas de las variables analizadas por lo que se incluyó en el modelo. La distribución de los animales por raza y nivel de sangre en las distintas combinaciones de tratamientos fue estadísticamente similar ( $P > .05$ ), por lo cual no se incluyó la raza como factor en los análisis estadísticos. Por otro lado se revisó el efecto de los tratamientos sobre los días al nadir del balance energético negativo y sobre la magnitud del nadir mediante un análisis de varianza (GLM; SAS, 1989). La asociación entre las variables dependientes analizadas fue examinada mediante correlaciones simples (SAS, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo diario de harina de carne por las vacas no suplementadas, fue de  $0.35 \pm 0.15$ ,  $0.36 \pm 0.5$  y  $0.25 \pm 0.4$  kg durante los PER 1, 2 y 3, respectivamente. La suplementación energética disminuyó el consumo voluntario del pasto expresado en MS y el amamantamiento lo aumentó ( $P < .05$ ), durante los períodos 1 y 2 (Cuadro 1). Debido a que de los 121 días posparto en adelante sólo permanecieron en el estudio vacas con cría al pie, se revisó únicamente el efecto de

suplementación energética en los periodos 3 y 4, y se observó que también dicho factor redujo el consumo de MS del pasto ( $P < 0.05$ ; Cuadro 1).

Se ha documentado que proporcionar suplementos a dietas basadas en forraje de baja calidad, como es el caso de los pastos tropicales, puede aumentar (Clanton y Zimmerman, 1970) o disminuir (Umoh y Holmes, 1974) el consumo de forraje, siendo este último caso el conocido efecto de sustitución de suplemento por forraje. Así por ejemplo, Marston y col. (1995) observaron un decremento en el consumo de forraje de baja calidad por vacas productoras de carne, durante el periodo pre y posparto al ofrecer suplemento energético en comparación a un suplemento proteico. El consumo en cantidades reducidas de grano (alrededor de 0.3 % del peso vivo del animal) generalmente no disminuye el consumo de forraje, pero niveles superiores al 0.3 % del peso vivo invariablemente disminuyen el consumo de forraje (Brant, 1993). En el presente estudio el maíz comprendió el 44 % del suplemento energético total y en términos de peso vivo, los animales de los grupos S-A y S-NA consumieron de un 38 % hasta un 74 % de maíz durante los dos primeros periodos. Lo anterior puede explicar la diferencia en el consumo de la MS del pasto, observado en los animales suplementados en comparación con los animales que no recibieron suplementación energética. En contraste al consumo de MS del pasto, cuando se consideró el consumo total de MS, que incluyó el pasto consumido y el suplemento energético, se observó que los animales que recibieron la dieta más densa en energía consumieron más MS total ( $P < 0.01$ ), a través de los cuatro periodos analizados (Cuadro2). Cabe mencionar, que en el presente estudio, los animales fueron alimentados para que parieran en una condición corporal óptima (promedio =  $3.4 \pm 0.6$ ). Sin embargo, al incluir en el análisis estadístico la condición corporal al parto, como covariable, se observó un efecto de la misma sobre variables de consumo, de producción, de el balance energético y la condición corporal ( $P < 0.05$ ; Cuadros 1-8). Es posible que, independientemente de que los animales paran en una condición corporal adecuada, la variación en la cantidad de energía almacenada en las reservas corporales al momento del parto, influyan en el consumo voluntario y consecuentemente en la producción; se desconocen los mecanismos fisiológicos que expliquen lo antes mencionado, pero la la cantidad de grasa presente al parto puede influir en el consumo, a través de la leptina (Houseknecht y Portocarreño, 1998) y el neuroéptido Y (McShane y col. 1993), los cuales están involucrados en los mecanismos de hambre y saciedad.

Por otro lado, el amamantamiento afectó el consumo de MS total ( $P < 0.01$ ), debido a que el becerro promovió un mayor consumo independientemente de la dieta de las vacas. A diferencia del consumo voluntario de pasto, el amamantamiento interactuó con la suplementación energética sobre el consumo total de MS durante los dos primeros periodos ( $P < 0.01$ ). En los periodos 1 y 2 (Cuadro. 2) se puede apreciar que, cuando fueron suplementadas energéticamente y fueron amamantadas por el becerro, las vacas consumieron MS en mucho mayor cantidad que los otros grupos de animales. Los consumos de MS total de todas las vacas, estuvieron por encima de el rango estimado para vacas lactantes productoras de carne por el NRC (1984). Por otro lado, comparando los resultados con modelos de programación lineal para dietas óptimas de vacas lactantes de doble propósito (Nicholson y col. 1993), los consumos de MS de los grupos no suplementados con energía fueron iguales al consumo predicho, en tanto que los de los grupos suplementados fueron muy superiores. El consumo de grano de maíz puede explicar los altos consumos de MS total de las vacas suplementadas con energía, observados en el presente estudio. Goetsch y col. (1991), estudiando a novillos Holstein en engorda observaron que cada kg de maíz en base seca incrementó el consumo total de MS en 0.54 kg y disminuyó el consumo de MS del pasto Bermuda en 0.46 Kg.

Algo inesperado fue el marcado efecto promotor del consumo por parte del amamantamiento, tanto en las vacas que recibieron suplementación energética como en las no fueron suplementadas. Se ha postulado que la regulación del consumo involucra señales de hambre y saciedad que operan a través de mecanismos hormonales (de Jong, 1986) y neurales (Bell, 1971), para controlar el consumo voluntario a corto y largo plazo. Asimismo, se ha hipotetizado que los mecanismos homeostáticos ajustan el consumo para regular el peso corporal y el mantenimiento de las reservas tisulares a través de la vida adulta del animal y los mecanismo homeorréticos modulan el consumo para satisfacer las demandas de los distintos estados fisiológicos como la lactación (Bauman and Currie, 1980). Independientemente de que factores como el olor, la textura y la apariencia visual del alimento, que evidentemente afectan el consumo a corto y largo plazo de humanos y otras especies animales, además del control que ejercen sobre el consumo las características organolépticas de los alimentos, se ha postulado que el estado emocional, las interacciones sociales y el aprendizaje pueden modificar el consumo de los alimentos; Mertens (1994) ha clasificado a estos últimos como modificadores o moduladores psicogénicos del

consumo, entre los que pudiera encontrarse la interacción entre la vaca y su becerro. Este posible modulador psicogénico del consumo materno, sumado a las demandas homeorréticas derivadas de la lactación podrían ser la causa del aumento en el consumo de MS. Alternativamente, existe la posibilidad de que el amamantamiento del becerro module la interrelación de neurotransmisores responsables del consumo por parte de los animales a nivel del sistema nervioso central. Así por ejemplo, los péptidos opioides han sido asociados a la regulación del consumo de alimento en rumiantes (Burgwald-Balstad y col., 1995) y se ha observado que la concentración de hormona luteinizante en respuesta a la aplicación de la naloxona, un antagonista de la acción de los péptidos opioides, es afectada también por el amamantamiento del becerro en animales cebú (Arreguín y col., 1995). Es posible entonces, que el amamantamiento afecte la relación de dichos péptidos con otros neurotransmisores asociados a los procesos de consumo por parte de los animales, como es el caso del neuropéptido Y (Mc Shane y col. 1993, Thomas y col. 1999) y lo anterior podría modificar el umbral de hambre o saciedad. Por lo tanto se requieren diseñar estudios que permitan profundizar en el conocimiento de los mecanismos del consumo voluntario que puedan ser modificados directamente por el amamantamiento del becerro o indirectamente por una mayor producción láctea inducida por el amamantamiento del becerro.

En el Cuadro 3 se puede observar que durante los cuatro períodos, los animales suplementados consumieron más ( $P < 0.1$ ) energía que los animales no suplementados. Asimismo, los animales amamantados tuvieron un consumo de energía superior ( $P < 0.1$ ) a los no amamantados y se observó durante los primeros dos períodos una interacción entre la suplementación y el amamantamiento ( $P < 0.1$ ; Cuadro 3). En la literatura existe abundante información sobre el consumo predicho de ENI de vacas altas productoras de leche (Vermorel y Coulon, 1998), el cual es muy superior al observado en las vacas de doble propósito durante el presente estudio. Lo anterior está determinado por las diferencias genéticas para la producción láctea, el ambiente climático y la calidad del forraje. Conviene puntualizar, que la determinación de la energía neta del pasto en el presente estudio se realizó a partir de la conversión del TND, estimado por la técnica de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (Moore y Mott, 1974). La precisión de la conversión de TND a EN está limitada por la escasa información de la energía neta de los alimentos (Weiss, 1998), lo cual es particularmente cierto para los forrajes tropicales, que además muestran gran variabilidad a través de los distintos estados fenológicos, la fertilización y

el manejo a que se someten. Lo anterior se debe a que existe una gran variabilidad en la composición química y la disponibilidad de energía en los alimentos; esta variación es generalmente mucho mayor en los forrajes (Minson, 1982). Debido a que la predicción de la energía en los alimentos aún depende de algunas ecuaciones que son específicas de población, se requieren más datos de composición y de interacciones entre los alimentos, la composición de los mismos, la velocidad de pasaje ruminal, y de factores relacionados con el animal y el ambiente climático. La información del presente estudio, quizá puede aportar elementos útiles para afinar los sistemas de energía que predicen las demandas de alimentación en vacas, especialmente cuando se refieren al ganado de doble propósito mantenido en clima tropical.

Los animales suplementados con energía fueron superiores ( $P < 0.01$ ) en la producción de leche total al día, en los cuatro periodos analizados y el amamantamiento incrementó ( $P < 0.01$ ) la producción láctea durante los dos primeros periodos (Cuadro 4). Se observó una interacción entre los tratamientos ( $P < 0.01$ ), debido a que el amamantamiento promovió una mayor producción de leche total promedio en las vacas suplementadas, en comparación con los otros grupos de vacas. Las vacas que amamantaron a su cría alcanzaron la mayor producción láctea durante el PER1, por lo que hubo un desfase la mayor demanda de energía y el mayor consumo de energía que, como se mencionó anteriormente, se alcanzó durante el PER2. Lo anterior es similar al desfase entre el pico de producción láctea y el mayor consumo de energía observado en vacas lecheras (Coppock, 1985; Nebel and McGilliard, 1993). Se observó que aún en el PER 3 las vacas suplementadas y con becerro al pie tuvieron una persistencia de producción de leche total con una media de  $11.02 \pm .02 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ . En contraste con éstas, las vacas con becerro pero que no fueron suplementadas tuvieron una caída drástica en su producción láctea a partir del primer período de lactancia.

La producción diaria de leche estuvo asociada ( $P \leq 0.0001$ ) con el consumo de MS total ( $r = 0.57$ ), de la ENI total ( $r = 0.65$ ) y de la ENI proveniente del suplemento energético ( $r = .71$ ); en contraste no hubo una relación significativa ( $P > 0.05$ ) entre la producción de leche y el consumo de MS del pasto. Lo anterior evidencia la respuesta que se puede esperar a la suplementación energética en términos de producción de leche en animales de doble propósito, que consumen pastos tropicales. En cuanto al efecto del amamantamiento sobre la producción láctea, el mayor consumo voluntario promovido por el becerro pudiera explicar, al menos parcialmente la mayor producción observada en los animales amamantados. No obstante, se ha documentado que la

intensidad del amamantamiento es un importante determinante en el comportamiento lactacional de distintas especies, debido a que afecta la secreción de algunas hormonas responsables de la galactopoiésis (Tucker, 1988). Sin embargo, para el caso de los bovinos, no se sabe con precisión cual o cuales hormonas galactopoiéticas son afectadas exclusivamente por el amamantamiento. Se ha observado que el amamantamiento induce una disminución de la hormona del crecimiento en la pituitaria anterior de cabras y ratas (Hart, 1974; Grosvenor y col. 1968). Sin embargo, ni el amamantamiento, ni el ordeño alteran la concentración sanguínea de la hormona del crecimiento en la vaca (Koprowski y col. 1973; Tucker, 1971). Por otro lado, en ratas el amamantamiento invariablemente induce la liberación de prolactina, hormona con función galactopoiética (Grosvenor y col. 1984; Mena y col. 1976). En contraste, en vacas lecheras se ha observado que la presencia del becerro con la madre, pero previniendo el amamantamiento, redujo la concentración basal y la liberación de prolactina inducida por el ordeño (Goodman y col., 1979; Akers y col. 1984). Hoffman y col. (1996) no observaron cambios en la concentración de prolactina entre vacas productoras de carne sin becerro y vacas con presencia del mismo a los 7 d PP; sin embargo dichos autores observaron una interacción entre el tiempo transcurrido después del parto y la presencia del becerro, debido a que durante el d 21 el amamantamiento indujo un aumento en la concentración de prolactina, con respecto a vacas con restricción al contacto del becerro y vacas a las que les fue retirado el mismo. Silveira y col. (1993) observaron que el amamantamiento indujo un incremento de prolactina, independientemente de si el becerro era propio o ajeno. Otra hormona a la cual se le han observado propiedades galactopoiéticas es la triyodotironina ( $T_3$ ; Swanson y col. 1973; Aceves y col. 1985; Thrift y col. 1999). Resultados del presente estudio, (Artículo 2), indicaron que el amamantamiento así como su interacción con la suplementación energética afectaron la concentración sérica de  $T_3$ , debido a que vacas suplementadas y en presencia del becerro tuvieron una mayor secreción de  $T_3$  en comparación con vacas sin suplemento energético o suplementadas y sin amamantar al becerro, a través de los primeros 120 días de lactación. Sin embargo, el grupo de vacas no suplementadas y con becerro al pie por 7h/d tuvieron concentraciones séricas de  $T_3$  similares a las vacas no suplementadas y sin becerro lo cual indica que las variaciones en la concentración serica de  $T_3$  se debieron a la suplementación energética y no al amamantamiento del becerro.

La oxitocina pudiera ser otro candidato a ser el mediador del efecto del amamantamiento sobre una mayor producción de leche. No obstante, la oxitocina no está asociada al mantenimiento de la síntesis de leche, sino que juega exclusivamente un papel en la actividad de la eyección. Lo anterior es apoyado por la observación de que las concentraciones sanguíneas basales de oxitocina así como su velocidad de secreción fueron igualmente altas en el pico de lactación y durante la involución mamaria de vacas lecheras (Wachs y col. 1984). Independientemente de que la oxitocina carezca de propiedades galactopoiéticas, pudiera ser determinante en el volumen de leche producida, debido a que la evacuación frecuente de la glándula mamaria influye positivamente en la secreción subsecuente de leche. Así por ejemplo, Knight y col. (1994), observaron que el tratamiento de oxitocina incrementó la producción de leche en la mitad de la ubre que fue ordeñada inmediatamente después del tratamiento, en comparación con la otra mitad que fue ordeñada antes de la aplicación de oxitocina. En vacas tanto la ordeña manual como la mecánica son potentes estímulos para la liberación de oxitocina (Cleverley y col. 1979; Schams y col. 1984). Sin embargo los estímulos por parte del becerro como son el táctil, el olfatorio y el visual, interactúan con los estímulos somatosensoriales en una manera aditiva liberando oxitocina y asegurando la máxima activación del reflejo de eyección de leche (Akers y col. 1984). El establecimiento del vínculo emocional entre la vaca y su cría, puede sumarse dentro del efecto positivo del amamantamiento sobre la producción láctea, como lo indican los resultados de Silveira y col. (1993), quienes observaron una mayor concentración de oxitocina sanguínea en vacas que amamantaron a su propia cría, en comparación con las que amamantaron una cría ajena. La discusión anterior es además apoyada por los resultados de Lamb y col. (1999), quienes trabajando con animales de propósito cárnico y en una prueba de corta duración, observaron que la producción láctea de vacas ordeñadas dos veces al día y en la presencia de su cría, cuyo amamantamiento se restringió, fue mayor que la producción de vacas ordeñadas con la misma frecuencia pero sin presencia de la cría. Por lo tanto, la mayor producción láctea observada en los animales amamantados pudo ser mediada por cambios en la concentración de una o más hormonas galactopoiéticas y por una mayor secreción de oxitocina, aunado al efecto promotor del becerro sobre el consumo voluntario de las vacas.

El contenido de grasa en la leche (GL) fue afectado por la suplementación energética debido a que durante los cuatro períodos, los animales suplementados tuvieron un menor porcentaje de

grasa ( $P < 0.01$ ) con relación a los que no recibieron suplementación energética (Cuadro 5). Así mismo, se observó un efecto del amamantamiento durante los primeros 120 días posparto ( $P < 0.01$ ) y una interacción entre los tratamientos durante los primeros 60 días ( $P < 0.03$ ), debido a que las vacas sin suplementar y que no fueron amamantadas tuvieron el mayor promedio en el contenido de GL con relación a la del resto de combinaciones de tratamientos, cuyos contenidos de GL fueron similares entre sí (Cuadro 5). Se ha documentado que dietas altas en fibra aumentan el contenido de GL debido a factores tales como el masticado, el pH del fluido ruminal y particularmente al aumento del cociente acetato/propionato (Davis, 1979; Shaver y col. 1984; Collier, 1985). Los animales que consumieron exclusivamente pasto debieron tener un tránsito del alimento y fermentación ruminal más lentos e incrementos en la relación acetato/propionato y, consecuentemente un mayor contenido de GL. Por otro lado, en el Cuadro 5 se puede apreciar que durante los primeros 60 días el efecto del amamantamiento y la interacción fueron determinados por el mayor contenido de GL de las vacas que consumieron sólo pasto y no tenían becerro (NS-NA), como se mencionó antes. En cambio, de los 61 a 120 días posparto aunque la leche obtenida del grupo NS-NA tuvo el mayor contenido de GL, se observó una depresión de la grasa láctea en el grupo S-A con relación a los grupos NS-A y S-NA. Al revisar las correlaciones simples entre las variables analizadas y el contenido de grasa en la leche se observó que esta última se asoció de manera negativa ( $P \leq 0.0001$ ) con los consumos de MS total ( $r = -0.25$ ), de ENI total ( $r = -0.37$ ) y de ENI del suplemento ( $r = -0.39$ ). Es posible entonces, que el consumo tanto de MS total por un lado y del suplemento energético por otro, expliquen al menos parcialmente el efecto del amamantamiento observado. Alternativamente, no se puede descartar que el menor contenido de GL en los grupos con amamantamiento del becerro, sea un reflejo de la mayor producción láctea observada en dichos animales, en comparación con los que no tuvieron becerro al pie. Sin embargo, no se detectó una asociación significativa entre la producción de leche y el contenido de GL.

Durante los primeros 60 días de lactancia, el amamantamiento afectó el contenido de proteína en leche (PL), con el mayor valor ( $P < 0.01$ ) en las vacas sin amamantar a diferencia de las amamantadas (Cuadro 6). Además hubo interacción ( $P < 0.01$ ) entre los tratamientos; lo anterior se debió a que las vacas no suplementadas y amamantadas tuvieron el menor contenido de PL (2.83%); por el contrario las no suplementadas y no amamantadas obtuvieron el mayor

contenido (3.56%); los animales suplementados, independientemente del régimen de amamantamiento, tuvieron medias similares de PL ( $P > .05$ ; S-A=3.25 y S-NA=3.26 %). Durante el período 61-120 días la suplementación y su interacción con el amamantamiento afectaron el contenido de proteína ( $P < .03$ ), ya que las vacas no suplementadas y amamantadas tuvieron la media más baja de proteína en leche ( $P < .01$ ) en comparación con los otros tres grupos, los cuales tuvieron medias similares. Durante los días 121 a 240 de lactancia se observó un menor contenido de proteína en la leche en las vacas no suplementadas con energía en comparación con las suplementadas ( $P < .01$ ).

Cuando las vacas se encuentran en un marcado estado de subalimentación, grandes cantidades de proteína corporal pueden ser perdidas durante la lactación temprana (Oldham, 1984). Se ha hipotetizado que durante el posparto temprano, la velocidad de recambio de proteína tisular en la vaca es lo suficientemente alta para contrarrestar las deficiencias de corto plazo en la absorción de aminoácidos (Oldham y col 1980). Sin embargo, la capacidad del animal para mantener la producción de proteína en la leche a expensas de su proteína corporal durante períodos más largos, es limitada (Coppock y col. 1968). Lo anterior puede explicar, al menos en parte, nuestros resultados y los de Wiley y col. (1991), quienes observaron una disminución en la proteína de la leche en los 20 y los 60 días posparto de vacas productoras de carne primíparas, que consumieron una dieta preparto por debajo de los requerimientos de mantenimiento, en comparación con la PL de vacas que consumieron una dieta diseñada para cubrir dicho mantenimiento. Además en el presente estudio, únicamente se observó una relación significativa ( $r = 0.47$ ;  $P = .0002$ ) entre el contenido de proteína en la leche y los cambios de condición corporal, en todos los períodos analizados. Como consecuencia, el grupo de vacas que sufrió las mayores pérdidas de las reservas corporales, produjeron leche con menor concentración de proteína.

El manejo nutricional preparto permitió obtener una condición corporal (CC) al parto de  $3.4 \pm 0.6$  unidades como promedio de todos los animales estudiados. La CC semanal promedio durante los primeros 60 días posparto fue afectada únicamente por la suplementación energética, teniendo los animales suplementados una mejor CC que los que no consumieron suplemento ( $P < .01$ ; Cuadro 7). Durante el período de 61 a 120 días posparto el suplemento energético, el amamantamiento y su interacción con la suplementación afectaron la CC ( $P < .01$ ), debido a que las vacas no suplementadas y amamantadas continuaron perdiendo CC a través de todo el período y

tuvieron una media por período de 2.12 puntos, la cual fue menor ( $P < .05$ ) a los 2.97 puntos de las vacas no suplementadas y sin becerro, y a las medias de los dos grupos de animales suplementados, las cuales medias fueron similares entre sí ( $S-A=3.18$  y  $S-NA=3.07$  puntos). El efecto del suplemento energético prevaleció hasta el fin del estudio ( $P < .01$ , Cuadro 7). Al revisar las correlaciones simples de la CC semanal con las variables estudiadas, se obtuvieron relaciones altamente significativas ( $P \leq .0001$ ) con los consumos diarios de suplemento energético ( $r = 0.57$ ) y de ENI total ( $r = 0.29$ ) durante los primeros 120 días posparto; en contraste la asociación de la CC con el consumo diario de pasto fue negativa ( $r = -0.27$ ;  $P \leq .0001$ ) durante el mismo período. La asociación negativa antes mencionada indica que a pesar de que las vacas sin suplementar ajustaron su consumo de pasto a la demanda que les impone la lactación mediante un aumento en el consumo del mismo, continuaron perdiendo reservas corporales a través de los primeros 120 d posparto. Dichas pérdidas fueron acentuadas por el amamantamiento del becerro, aún después de los 60 días posparto, ya que en contraste, las vacas no suplementadas pero que no tenían becerro, lograron mantener la condición corporal, que registró una ligera pérdida durante los primeros 60 días posparto. Laflamme y col. (1992) al comparar la CC de vacas productoras de carne que recibieron una suplementación con 4 Kg de grano después del parto y vacas que no recibieron la suplementación, observaron un efecto positivo de la suplementación energética sobre la condición corporal de las vacas hasta el final del experimento (210 d posparto). En dicho estudio la dieta base consistió en pasto ensilado de calidad promedio a una latitud distinta a la tropical, por lo que los resultados del presente estudio patentizan que el efecto positivo de la suplementación energética sobre la condición corporal de animales que consumen pastos tropicales durante el período posparto es similar al de las vacas que consumen forraje de alta calidad en climas templados. La condición corporal semanal se asoció ( $P \leq .0001$ ) de manera positiva con el volumen de producción de leche durante los primeros 120 días ( $r = .31$ ) y durante el período de 121 a 180 días posparto ( $r = .47$ ). Puesto que ocurrió una correlación entre la CC y el contenido de proteína en leche durante todos los períodos estudiados, es evidente que el mantenimiento de las reservas corporales de los animales de doble propósito mantenidos en clima tropical, requiere de la suplementación energética, ya que el pasto por sí sólo, aún manejado de la mejor manera posible, irrigado, fertilizado y proporcionado ad libitum, no permite un desempeño productivo acorde con el potencial de las vacas.

El balance energético diario durante todo el estudio fue afectado por la energía contenida en la dieta ( $P < 0.01$ ), ya que los animales suplementados tuvieron un superávit calórico promedio en comparación con los animales que no recibieron suplemento, los cuales tuvieron un valor promedio deficitario (Cuadro 8); así mismo el amamantamiento y su interacción con la dieta afectaron dicha variable ( $P < 0.01$ ), durante los primeros 120 días de lactancia. La interacción se manifestó en dicho período de tal modo que las vacas amamantadas y que recibieron suplemento tuvieron una media más positiva ( $P < 0.01$ ) en comparación con las vacas suplementadas y no amamantadas; además ambos grupos superaron a los no suplementados, los cuales tuvieron medias negativas y estadísticamente iguales entre sí.

Al revisar la correlación entre el balance energético diario con otras variables medidas en el presente estudio, se observó que los mayores valores de asociación ( $P \leq .0001$ ) se obtuvieron con los consumos diarios de MS total ( $r = 0.77$ ) y de ENI total ( $r = 0.87$ ). Estos resultados concuerdan con los observados en vacas Holstein lactantes en las cuales el consumo energético explica la mayor parte de la variación del balance energético (Villa-Godoy y col. 1988; Zurek y col. 1995). Por otro lado, en las vacas lecheras de razas europeas altamente productoras, se ha documentado que existe una relación negativa entre el balance energético diario y la producción de leche (Villa-Godoy y col. 1988, Nebel y Gilliard, 1993). En contraste en el presente estudio se observó una relación positiva entre el balance energético diario y la producción de leche durante los primeros 120 días posparto ( $r = 0.33$ ;  $P = .0001$ ). Lo anterior puede ser explicado por la relación positiva encontrada entre los consumos de MS y ENI totales con la producción de leche. Precisamente en los grupos amamantados, independientemente de su condición corporal, fueron en los que se observó un mayor consumo y por ende un balance energético más positivo, particularmente durante el período de 60 a 121 días. Villa Godoy y col. (1990) observaron una relación directa entre la condición corporal y el balance energético de vaquillas Holstein en la cual, la disminución de condición corporal fue paralela con la disminución del balance durante un estado calórico deficitario. En el presente estudio, durante los primeros 120 días la asociación entre el balance energético y la condición corporal fue inversa y con un coeficiente de  $-0.11$  ( $P < 0.05$ ). En contraste cuando se analizó la relación entre el balance energético y la condición corporal durante los dos últimos períodos (121 a 180 y  $\geq 181$  días), en los cuales únicamente se estudiaron vacas amamantando al becerro, la relación fue positiva ( $r = 0.34$ ;  $P \leq .0001$ ). Por lo

tanto, la inconsistente asociación entre el balance energético y la condición corporal observada en el presente estudio quizá pueda ser explicada de manera parcial, por la naturaleza interactuante de los tratamientos, en la cual el amamantamiento del becerro afectó las respuestas de consumo y producción láctea debidas a las variaciones en la dieta. En el periodo de 61 a 120 días, el grupo no suplementado y sin becerro tuvo un balance energético más negativo que el de los animales con la misma dieta y amamantados, siendo que estos últimos perdieron significativamente más puntos de condición corporal, con relación a los primeros durante el mismo período. Entre los elementos que integran las ecuaciones que predicen el balance energético se encuentra el contenido de grasa en la leche y éste se asoció ( $P \leq .0001$ ) de manera negativa con el balance energético ( $r = -0.33$ ). Como se discutió anteriormente, los grupos no suplementados tuvieron el mayor contenido de grasa durante los dos primeros periodos analizados y justamente durante el periodo de 61 a 120 días, el grupo no suplementado y sin becerro tuvo el valor más alto del presente estudio (4.1%). Si se considera lo anterior y que el consumo explica la mayor parte de la variación del balance energético, se puede entender, al menos en parte, la aparente incongruencia entre el balance energético diario y los cambios semanales en la condición corporal de las animales del presente estudio. Conviene enfatizar que es necesario incrementar la base de información para la determinación del valor de energía de los pastos tropicales; así mismo, es necesario profundizar en el conocimiento de la eficiencia de la utilización de la energía de los alimentos por animales resultantes de cruces de razas europeas con cebuínas y que son mantenidos en clima tropical, con el fin de aumentar la precisión de las ecuaciones para estimar el balance energético de vacas de razas puras y que se mantienen en climas templados o fríos. El nadir de balance energético ha sido señalado como un factor importante que impacta el comportamiento metabólico y reproductivo de las vacas lecheras y que tanto su magnitud como tiempo de ocurrencia dependen enteramente del consumo voluntario de los animales (Villa-Godoy y col. 1988; Nebel y Gilliard, 1993). En el presente estudio, los días al nadir y la magnitud del balance energético negativo durante los primeros 60 días posparto fueron afectados por la dieta ( $P < .01$ ), puesto que las vacas suplementadas con energía presentaron el nadir antes de los 20 d posparto y con una mucho menor magnitud ( $12 \pm 6$  d y  $-2.91 \pm .87$  Mcal, respectivamente) que las vacas que no recibieron suplementación energética ( $47 \pm 5$  d y  $-11.74 \pm .87$  Mcal, respectivamente).

## CONCLUSIONES

Se determinó que la suplementación energética redujo el consumo de pasto, confirmando el concepto de que en trópico los concentrados sustituyen en parte al forraje que podrían pastorear las vacas. No obstante, la suplementación energética aumentó el consumo total de MS y de energía. Así mismo, en el presente trabajo, las vacas que no recibieron suplementación energética, tuvieron mayores pérdidas de condición corporal y registraron un volumen de producción láctea sensiblemente menor (45 %) que el de las vacas que si consumieron un concentrado energético. Lo anterior ocurrió a pesar de que el pasto que se les ofreció ad libitum fué cosechado en el momento fenológico y nutricional ideal y de que la pradera de donde fue cortado, se irrigó y fertilizó. Consecuentemente la primera conclusión es que las demandas derivadas de la producción láctea de las vacas de doble propósito no pueden ser satisfechas exclusivamente por los pastos tropicales. En la literatura existen evidencias que indican que las vacas lecheras altas productoras pasan por períodos prolongados de balance energético negativo durante la lactancia a pesar de tener acceso libre a dietas de alta densidad energética. El déficit de energía conlleva a pérdidas de condición corporal y con ello a la reducción de la eficiencia reproductiva. En el presente trabajo se observó que las vacas mantenidas exclusivamente con pasto se mantuvieron en promedio en balance energético negativo durante los primeros 120 días posparto; por el contrario, las vacas que recibieron suplemento energético permanecieron en balance energético positivo durante el mismo período, a pesar de que su producción láctea fue mucho mayor. Consecuentemente nuestra segunda conclusión es que en vacas de doble propósito, al contrario que en vacas lecheras especializadas, es posible evitar el déficit energético durante la lactancia y con ello su repercusión potencial en la reducción del desempeño reproductivo que pudiera ser imputable tanto al balance energético negativo como a la pérdida de condición corporal.

Si bien en este estudio, en promedio las vacas que recibieron suplemento energético estuvieron en BE positivo, en forma individual cada animal experimentó períodos cortos de BE negativo. Se observó que el nadir de BE ocurrió mucho más pronto después del parto y registró una magnitud mucho menor (menos negativo) en las vacas que recibieron energía adicional con respecto a las que no la recibieron. De acuerdo a lo anterior concluimos que el nadir del BE puede ser modificado mediante el suministro de dietas de distinta densidad energética en vacas de doble

propósito. Consecuentemente dicho modelo animal puede ser propuesto para estudiar los mecanismos que median los efectos del nadir energético en el metabolismo y la reproducción de vacas lactantes.

El amamantamiento del becerro promovió un mayor consumo de MS y energía en las vacas e incrementó su BE y producción láctea. Por lo tanto, otra conclusión es que el amamantamiento modula los efectos de la suplementación energética sobre el consumo voluntario y la producción de vacas de doble propósito mantenidas en el trópico.

FAULTA

PACs

38

Cuadro 1. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo voluntario de pasto, durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

PERÍODO/d Parámetro	Consumo de M.S del pasto, Kg/vaca/d			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<u>Factores principales*</u>				
NS	10.17a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	11.91a (15)	12.71a (10)	10.41a (9)
S	8.49b (19)	8.49b (14)	8.86b (6)	6.05b (2)
A	11.05a (20)	11.29a (20)	-	-
NA	8.1b (18)	9.46b (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS- A	11.27a (10)	12.29a (10)	-	-
NS-NA	9.06b (9)	11.53b (5)	-	-
S-A	9.83c (10)	9.58c (10)	-	-
S-NA	7.15d (9)	7.39d (4)	-	-
E.E. <sup>4</sup>	0.57	.35	.41	.42
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.08	.39	-	-
Medida en el tiempo	.01	.06	-	-
Cov. CCP	.02	-	-	-
R <sup>2</sup>	.61	.50	.41	.31

<sup>1</sup>a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 2. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo voluntario de pasto y suplemento energético o harina de carne durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Consumo voluntario de pasto y suplemento energético o harina de carne (MS; kg/d)				
<u>PERÍODO/d</u> Parámetro	<u>0-60</u>	<u>61-120</u>	<u>121-180</u>	<u>181-240</u>
<u>Factores principales*</u>				
NS	11.06a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	12.45a (15)	13.11a (10)	10.73a (9)
S	15.39b (19)	14.88b (14)	17.36b (6)	14.75b (2)
A	14.51a (20)	15.70a (20)	-	-
NA	11.95b (18)	11.30b (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS- A	11.95a (10)	13.34a (10)	-	-
NS-NA	10.17b (9)	11.53b (5)	-	-
S-A	17.06c (10)	18.07c (10)	-	-
S-NA	13.72d (9)	11.68ab (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	.94	.35	.39	.30
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.01	.01	-	-
Medida en el tiempo	.01	.02	.51	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.08	-	-	-
R <sup>2</sup>	.62	.53	.38	.36

<sup>1</sup>a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.01$ ).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

FPMIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el consumo de energía neta de la lactación durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Consumo de energía neta de la lactación (Mcal de Enl <sup>1</sup> d)				
<u>PERÍODO</u> Parámetro	<u>0-60</u>	<u>61-120</u>	<u>121-180</u>	<u>181-240</u>
<u>Factores principales*</u>				
NS	10.53a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	11.12a (15)	11.62a (10)	8.24a (9)
S	19.16b (19)	19.88b (14)	21.97b (6)	17.95b (2)
A	16.40a (20)	17.93a (20)	-	-
NA	13.29b (18)	12.51b (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS-A	11.34a (10)	12.84a (10)	-	-
NS-NA	9.73b (9)	9.39b (5)	-	-
S-A	21.49c (10)	23.01c (10)	-	-
S-NA	16.86d (9)	15.62d (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	.86	.35	.36	.27
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.01	.01	-	-
Medida en el tiempo	.01	.01	.05	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.01	-	-	-
R <sup>2</sup>	.81	.78	.75	.59

<sup>1</sup> a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P<0.01).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 4. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la producción de leche durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical .

PERÍODO/d Parámetro	Producción de leche (ordeñada más la consumida por el becerro; kg/d)			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales</b>				
NS	7.07a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	5.63a (15)	5.72a (10)	2.03a (9)
S	11.00b (19)	9.06b (14)	11.02b (6)	6.41b (2)
A	11.34a (20)	10.05 <sup>a</sup> (20)	-	-
NA	6.74b (18)	4.64b (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	9.52a (10)	7.15a (10)	-	-
NS-NA	4.62b (9)	4.11b (5)	-	-
S-A	13.15c (10)	12.95c (10)	-	-
S-NA	8.83d (9)	5.17d (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	.87	.25	.32	.20
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.01	.01	-	-
Medida en el tiempo	.01	.01	.01	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.01	-	-	-
R <sup>2</sup>	.75	.79	.60	.57

<sup>1</sup> a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 5. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el contenido de grasa en la leche durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

PERÍODO/d Parámetro	Contenido de grasa en la leche (%)			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales</b>				
NS	2.96a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	3.73a (15)	3.87a (10)	3.74a (9)
S	2.73b (19)	3.17b (14)	2.77b (6)	3.15b (2)
A	2.65a (20)	2.96a (20)	-	-
NA	3.04b (18)	3.93b (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	2.73a (10)	3.38a (10)	-	-
NS-NA	3.19b (9)	4.10b (5)	-	-
S-A	2.58a (10)	2.54c (10)	-	-
S-NA	2.88a (9)	3.80ab (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	.19	.16	.07	.06
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.03	.07	-	-
Medida en el tiempo	.01	.01	.01	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.01	-	-	-
R <sup>2</sup>	.59	.55	.58	.67

<sup>1</sup> a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.01).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 6. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el contenido de proteína en la leche durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

PERÍODO Parámetro	Contenido de proteína en la leche (%)			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales</b>				
NS	3.19 (19) <sup>2</sup>	3.17a (15)	3.09a (10)	3.34a (9)
S	3.26 (19)	3.34b (14)	3.51b (6)	3.68b (2)
A	3.04a <sup>1</sup> (20)	3.14 (20)	-	-
NA	3.41b (18)	3.36 (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	2.83a (10)	2.98a (10)	-	-
NS-NA	3.56b (9)	3.35b (5)	-	-
S-A	3.25c (10)	3.29b (10)	-	-
S-NA	3.26c (9)	3.37b (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	0.11	0.06	0.05	0.11
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.18	.03	.01	.04
A	.01	.06	-	-
S*A	.01	.03	-	-
Medida en el tiempo	.01	.04	.37	.02
Cov. CCP <sup>4</sup>	.12	-	-	-
R <sup>2</sup>	.60	.65	.70	.56

<sup>1</sup> a, b, c. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.01).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 7. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la condición corporal semanal durante el anestro posparto de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical.

PERÍODO/d Parámetro	Condición corporal semanal (puntos 1-5)			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales</b>				
NS	2.90a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	2.55a (15)	2.00a (10)	2.03a (9)
S	3.19b (19)	3.12b (14)	3.28b (6)	3.12b (2)
A	3.01 (20)	2.65a (20)	-	-
NA	3.08 (18)	3.03b (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	2.84a (10)	2.12a (10)	-	-
NS-NA	2.95ab (9)	2.97b (5)	-	-
S-A	3.18bc (10)	3.18c (10)	-	-
S-NA	3.22c (9)	3.07bc (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	0.32	0.04	0.05	0.02
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.22	.01	-	-
S*A	.23	.01	-	-
Medida en el tiempo	.01	.53	.68	.05
Cov. CCP <sup>4</sup>	.01	-	-	-
R <sup>2</sup>	.90	.91	.94	.94

<sup>1</sup> a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.01).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 8. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre el balance energético (Mcal/d) durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

PERÍODO Parámetro	Balance energético (Mcal d)			
	0-60 dPP (n)	61-120 dPP (n)	121-180 dPP (n)	181-240 dPP (n)
<u>Factores principales</u>				
NS	-2.53a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	-1.16a (15)	-0.75a (10)	-0.91a (9)
S	4.11b (19)	5.69b (14)	6.96b (6)	4.99b (2)
A	1.7a (20)	3.71a (20)	-	-
NA	-0.12b (18)	0.82 (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS-A	-2.17a (10)	0.10a (10)	-	-
NS-NA	-2.89a (9)	-2.42b (5)	-	-
S-A	5.59b (10)	7.31c (10)	-	-
S-NA	2.64c (9)	4.07d (4)	-	-
E.E. <sup>3</sup>	0.88	0.38	0.60	0.32
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.01
A	.01	.01	-	-
S*A	.01	.44	-	-
Medida en el tiempo	.01	.01	.14	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.03	-	-	-
R <sup>2</sup>	.70	.64	.56	0.30

<sup>1</sup> a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P<0.01).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **EXPERIMENTO II:**

**EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGIA  
METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN  
SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO TROPICAL: II.- CONCENTRACIÓN  
DE HORMONAS METABÓLICAS Y METABOLITOS.**

**EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGÍA  
METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN SISTEMA DE  
DOBLE PROPÓSITO TROPICAL: II.- CONCENTRACIÓN DE HORMONAS  
METABÓLICAS Y METABOLITOS.**

**INTRODUCCIÓN**

La homeorresis ha sido definida como “los cambios orquestados o coordinados del metabolismo para apoyar un estado fisiológico prioritario” (Bauman y Currie, 1980). Uno de los estados fisiológicos de mayor prioridad es la lactación que tiene como meta fundamental, la sobrevivencia de la cría. Al inicio de la lactación se presentan alteraciones marcadas en la repartición de los nutrimentos y en el metabolismo general del animal (Bauman y Currie, 1980). La repartición de tales nutrimentos durante la lactación es regulada por complejas interacciones hormonales y mecanismos de comunicación entre los tejidos corporales y la glándula mamaria que involucran hormonas y metabolitos (Hart, 1979). Los conceptos para entender la regulación homeorrética durante la lactación han surgido a partir de estudios que relacionan los eventos metabólicos con las concentraciones séricas de hormonas y de metabolitos (Convey, 1974; Trenkle, 1978). Esos estudios han sido realizados en vacas lecheras de alta producción, mantenidas en clima templado, sin que hayamos encontrado trabajos diseñados para estudiar las variaciones endocrinas impuestas por la lactación y (o) el amamantamiento en vacas de doble propósito, en clima tropical. La insulina es una de las hormonas que coordinan el metabolismo de los nutrimentos y la repartición de energía en los diversos tejidos corporales (Sano y col. 1993). Existen evidencias de cambios en la concentración sanguínea de insulina y en la respuesta secretoria de la misma, durante distintos estados fisiológicos de las vacas lecheras (Sartin y col. 1988; Sartin y col. 1985; Vasilatos y Wangness, 1981). Con base en los cambios de la concentración sanguínea de hormonas tiroideas durante la lactación de vacas lecheras y su asociación con la producción de leche, se ha propuesto que dichas hormonas pueden tener un papel importante en la manutención del gasto de energía en funciones de alta prioridad, como lo es la lactación ( Aceves y col.1985; Hart y col. 1979; Tucker, 1988). Entre los metabolitos que

han sido asociados con los cambios endocrinos observados durante la lactación temprana de vacas lecheras, están los ácidos grasos no esterificados relacionados con el metabolismo lipídico (Bauman y Currie 1980; Canfield y col.1990); así como el nitrógeno ureico sanguíneo cuya concentración es alta durante el período posparto temprano y disminuye varias semanas después del parto (Carrol y col. 1988; Ferguson y col. 1988).

Por otro lado se desconoce el efecto de la manipulación de la energía dietética, de la ordeña y (o) el amamantamiento sobre los cambios de hormonas y metabolitos durante la lactación de vacas de doble propósito. Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la suplementación energética y el amamantamiento sobre las concentraciones de ácidos grasos no esterificados (AGNE), nitrógeno ureico sanguíneo (NUS), insulina, triyodotironina ( $T_3$ ) y tiroxina ( $T_4$ ) determinadas durante la lactancia. Un objetivo colateral fue determinar las asociaciones entre los cambios de las hormonas y metabolitos citados y los cambios en el consumo voluntario, la producción láctea, la condición corporal y el balance energético de vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical (Experimento 1).

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría:**

Se utilizaron 38 vacas recién paridas (con 2 ó más partos) de la cruce entre Bos taurus y Bos indicus, con una proporción de sangre de 50 a 75% de la raza Pardo Suizo americano o de la Holstein. Todos los animales se mantuvieron bajo condiciones controladas hasta el segundo estro posparto, siendo asignados al azar a cuatro grupos derivados de un arreglo factorial 2 X 2, cuyos factores principales fueron la alimentación y el amamantamiento.

La combinación de tratamientos fué:

NS-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje tropical y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

NS-NA =Vacas con dieta similar a la anterior y sin amamantamiento del becerro (n=9).

S-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje tropical más suplementación energética de acuerdo a sus requerimientos de mantenimiento y producción láctea, y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

S-NA =Vacas con dieta similar a la anterior tratamiento tres y sin amamantamiento del becerro (N=9).

Para evitar deficiencias de proteína que enmascararan los efectos de la variación de las dietas en cuanto a su contenido energético, se ofreció a las vacas que consumieron sólo forraje, harina de carne (39% de proteína cruda) en una cantidad, que permitiera aproximadamente un 10 % de rechazo de la misma; la harina de carne fué la principal fuente de proteína del suplemento energético. Con el fin de medir el consumo individual de alimentos, las vacas fueron alojadas en corrales individuales de aproximadamente 7 m<sup>2</sup> con área techada y piso de concreto, más un espacio sin techo y piso de arena; todos los corrales tuvieron comederos para pasto y para el suplemento por separado, así como bebederos. Los animales tuvieron libre acceso a sales minerales y agua. Los ingredientes del concentrado energético fueron maíz molido (44.4%), harina de carne (29.65%), pulido de arroz (15.99%), melaza de caña (8%), sal común (0.79%) y sales minerales (Superbayphos de Bayer; 0.79%); el concentrado energético contenía 1.55 Mcal de energía neta de la lactación (ENL) y 18 % de proteína cruda por kg.

Los becerros de las vacas asignadas a los tratamientos NS-NA y S-NA, fueron separados en un término de tiempo igual o menor a las 6 horas posparto y las vacas fueron ordeñadas dos veces al día; en los tratamientos NS-A y S-A los becerros permanecieron con la vaca por 7 h/día y las vacas fueron ordeñadas una sólo vez al día. Con el fin de estimar la leche consumida por el becerro se registró su peso antes y después de cada evento de amamantamiento. La producción de las vacas de los tratamientos NS-A y S-A fué considerada como la leche registrada durante la ordeña a través del estudio más la estimada como consumo del becerro.

#### Colección de muestras sanguíneas y análisis de laboratorio.

Para la determinación de las hormonas metabólicas y metabolitos, se colectaron muestras sanguíneas de las venas coccígeas cada 5 días, desde el parto hasta el fin del experimento (2° estro posparto). La obtención de la muestra se realizó después de la ordeña matutina, antes de proporcionar a los animales el primer alimento del día (valoración preprandrial). La sangre fué

refrigerada por 24 h y luego se centrifugó para la obtención del suero, que fué congelado a -20 C hasta su análisis.

Los AGNE fueron cuantificados en el suero mediante una técnica enzimática colorimétrica por reacción alterna de la acyl-CoA sintetasa/acyl-CoA oxidasa (Wako Ch. GmbH; Cat. 994-75409, Lot #:12K7-1), adaptada a un equipo micrometodológico (Cobas Mira).

El nitrógeno ureico sérico se determinó mediante una técnica enzimática colorimétrica, adaptada al mismo equipo, con estuches comerciales (Diagnostic Chemicals Limited, Canadá; Cat: 275-06).

El coeficiente de variación interensayos (n=12) en la medición de los AGNE y NUS fué menor al 2%.

La insulina se cuantificó mediante un radioinmunoensayo (RIA) comercial de fase sólida (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA; Cat: TKIN5) y validado para bovinos por Reimers y col. (1982); los coeficientes de variación intraensayo e interensayo (n=10) fueron de 8.5 y 10 % respectivamente.

La triyodotironina (T<sub>3</sub>) fué analizada en el suero mediante un RIA en un sistema de doble anticuerpo, modificado para bovinos, con suero homólogo en la curva estándar (Valverde y col.1989). El sistema tiene una reproducibilidad y exactitud de 90 a 95 % en el intervalo de 15 a 30 ng por dl. Los coeficientes de variación intra e interensayo (n=16) fueron de 9 y 12.5 % respectivamente. La tiroxina (T<sub>4</sub>) sérica fué cuantificada mediante un RIA comercial en un sistema de fase sólida (ICN, Biomedicals; Cat. 07-166170); los coeficientes de variación intraensayo e interensayo (n=10) fueron de 4.6 y 10 % respectivamente. El cociente de T<sub>3</sub> con T<sub>4</sub> se determinó con valores convertidos de ng/dl (T<sub>3</sub>) y ug/dl (T<sub>4</sub>) a nanomoles/l.

#### Variables de respuesta y análisis estadístico.

Debido a que las vacas estuvieron en el estudio hasta la presentación del segundo estro posparto y duración media del anestro fué desde 68 días en las vacas suplementadas y no amamantadas hasta 245 días en las no suplementadas y con becerro, fué necesario dividir el análisis en cuatro periodos de 60 días cada uno.

Para el análisis estadístico se empleó un análisis de varianza con observaciones repetidas en el animal a través del tiempo (Littell y col. 1998), usando el procedimiento de modelo lineal (SAS, 1989).

El modelo al cual se le atribuye el total de la variación es representado como:

$$y = \mu + S_i + A_j + SA_{ij} + V_{(ij)k} + \delta_{(ijk)} + T_l + ST_{il} + AT_{jl} + SAT_{ijl} + VT_{(ij)kl} + \sum_{(ijkl)m}$$

Donde:  $y$  es la concentración sérica de AGNE ó de NUS ó de insulina ó de  $T_3$  ó de  $T_4$  ó el cociente  $T_3/T_4$  en el  $i$ -ésimo suplemento energético y el  $j$ -ésimo amamantamiento de la  $k$ -ésima vaca en el  $l$ -ésimo tiempo.

$\mu$  : Es la media teórica de la población.

$S_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo suplemento energético ( con o sin suplemento energético).

$A_j$ : Efecto del  $j$ -ésimo amamantamiento ( con o sin amamantamiento del becerro).

$SA_{ij}$ : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suplemento con el  $j$ -ésimo amamantamiento.

$V_{(ij)k}$ : Efecto de la  $j$ -ésima vaca dentro del  $i$ -ésimo suplemento energético y el  $j$ -ésimo amamantamiento.

$\delta_{(ijk)}$  : Error de restricción.

$T_l$  : Efecto del  $l$ -ésimo tiempo (semanas)

$ST_{il}$ : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suplemento con el  $l$ -ésimo tiempo.

$AT_{jl}$ : Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo amamantamiento con el  $l$ -ésimo tiempo.

$SAT_{ijl}$ : Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suplemento con el  $j$ -ésimo amamantamiento en el  $l$ -ésimo tiempo.

$VT_{(ij)kl}$ : Efecto de la vaca dentro del  $l$ -ésimo tiempo.

$\sum_{(ijkl)m}$ : Error aleatorio con distribución NID  $(0, \sigma^2)$ .

Los contrastes entre medias se realizaron por la prueba de comparaciones múltiples de medios mínimos cuadráticos (SAS, 1989). La distribución de los animales por raza y nivel de sangre en las distintas combinaciones de tratamientos fue estadísticamente similar ( $P > .05$ ), por lo cual no se incluyó la raza como factor en los análisis estadísticos. Mediante correlaciones simples (SAS,

1989), se examinó la asociación de las variables endocrinológicas y metabólicas con las variables de producción y corporales.

### RESULTADOS

La suplementación energética disminuyó ( $P < 0.01$ ) la concentración de los AGNE en sangre durante los cuatro períodos estudiados (Cuadro 9). Por el contrario, el amamantamiento de la cría incrementó la concentración de lo AGNE durante el período de 61 a 120 días. Durante los primeros 60 días se detectó la interacción ( $P < 0.05$ ) entre el amamantamiento y la dieta, la cual aumentó la concentración de los AGNE en el grupo NS-A con respecto a las otras combinaciones de tratamientos. La concentración sérica de los AGNE se asoció ( $P \leq .0001$ ) de manera negativa con el consumo de energía del suplemento ( $r = - 0.24$ ), el consumo de la energía total ( $r = - 0.23$ ) y con el balance energético diario ( $r = - 0.35$ ), registrados durante los primeros 60 días posparto.

La suplementación energética incrementó las concentraciones de NUS ( $P < 0.01$ ) durante los tres primeros períodos (Cuadro 10), mientras que las vacas que amamantaron a su cría tuvieron concentraciones séricas de NUS mayores ( $P < 0.01$ ) que las que no amamantaron al becerro en el período de 61 a 120 días. Se detectó la interacción ( $P < 0.01$ ) entre la dieta y el amamantamiento durante el mismo intervalo, ya que las vacas del grupo NS-A tuvieron concentraciones de NUS similares a las de los grupos suplementados, pero difirieron de la de las vacas en el grupo NS-NA, que a su vez también fué diferente ( $P < 0.05$ ) a los dos grupos suplementados.

La concentración sérica de insulina (Cuadro 11) fue numéricamente mayor en las vacas suplementadas con energía que en las que no lo fueron a lo largo del estudio; aunque solo durante los primeros 60 días y durante el intervalo de 181 a 240 días de lactancia, dicha diferencia fue significativa ( $P \leq .02$ ). Al respecto únicamente se detectó una interacción entre el amamantamiento y el suministro de energía, durante los primeros 60 días de lactancia, ya que las vacas del grupo NS-A mostraron una concentración de insulina inferior a la de los grupos restantes ( $P = .05$ ). Se observó que la concentración sérica de insulina se asoció de manera positiva ( $r = 0.41$ ;  $P \leq .0008$ ) con la condición corporal medida semanalmente, durante los primeros 120 días posparto.

En el Cuadro 12 se puede observar que a lo largo de 180 días posparto las concentraciones séricas de  $T_3$  fueron consistentemente menores en los animales no suplementados ( $P < 0.01$ ). Así mismo, durante los primeros 60 días de lactancia, la ausencia de amamantamiento

redujo la concentración sérica de dicha hormona. Se detectaron interacciones entre la dieta y el amamantamiento, puesto que en el primer período de 60 días de lactancia, los dos grupos no suplementados tuvieron menores ( $P < 0.01$ ) concentraciones de  $T_3$  que los dos grupos que recibieron suplemento energético; a su vez, los dos últimos grupos difirieron entre sí, habiéndose detectado un marcado incremento a favor del grupo S-A sobre el S-NA. En el período comprendido entre los días 61 y 120 de lactancia, las interacciones entre energía y amamantamiento se tornaron más complejas, puesto que todos los grupos difirieron entre sí ( $P < 0.01$ ); notándose que el amamantamiento decreció la concentración de  $T_3$  en las vacas no suplementadas, pero en forma contrastante la aumentó en las vacas que fueron suplementadas energéticamente (Cuadro 12). Al revisar las asociación entre la concentración sérica de  $T_3$  con las variables no endocrinológicas se observó una asociación positiva ( $P \leq .0001$ ) con los consumos diario de MS total ( $r = 0.26$ ), el consumo de energía en el suplemento ( $r = 0.40$ ), el consumo de energía total ( $r = 0.31$ ), la producción diaria de leche ( $r = 0.27$ ) y el balance energético diario de los animales ( $r = 0.20$ ), registrados durante los primeros 60 dPP.

Durante los primeros 180 días posparto los niveles más altos ( $P < 0.01$ ) de  $T_4$  se observaron en las vacas suplementadas con energía y en los 120 posparto, las vacas amamantadas tuvieron las mayores ( $P < 0.01$ ) concentraciones de  $T_4$  (Cuadro 13). Durante los primeros 120 días de lactancia, hubieron complejas interacciones ( $P < 0.01$ ) entre la dieta y el amamantamiento, con la tendencia a que los grupos suplementados mostraran niveles mayores de  $T_4$ , siendo notoria en ellos la respuesta positiva al amamantamiento mientras que en los grupos no suplementados, el amamantamiento interactuó negativamente (Cuadro 13). La concentración sérica de  $T_4$  tuvo una relación positiva ( $P \leq .0001$ ) con el consumo de MS total ( $r = 0.21$ ), el consumo de la energía en el suplemento ( $r = 0.27$ ), el consumo de la energía total ( $r = 0.23$ ) y con el balance energético ( $r = 0.25$ ).

La relación de  $T_3$  con  $T_4$  (cociente  $T_3/T_4$ ), es un indicador de la función tiroidea debido a que refleja la conversión enzimática de  $T_4$  a  $T_3$ . Se observó que en los primeros 120 días de lactancia las vacas que no fueron suplementadas con energía tuvieron una menor ( $P < 0.01$ ) relación  $T_3/T_4$  en comparación de las vacas suplementadas (Cuadro 14). Aunque no se registraron efectos del amamantamiento sobre el cociente  $T_3/T_4$  durante los primeros 60 días posparto, se observaron interacciones ( $P < 0.01$ ) entre éste y la suplementación; la diferencia a la

suplementación fué de más de cuatro veces y más de dos veces en las vacas amamantadas y no amamantadas, respectivamente. El cociente  $T_3/T_4$  se relacionó ( $P \leq .0001$ ) con el consumo de MS ( $r = 0.20$ ), el consumo de energía del suplemento ( $r = 0.32$ ) el consumo de energía total ( $r = 0.24$ ) y la producción diaria de leche ( $r = 0.23$ ), registrados durante los primeros 60 dPP.

## DISCUSIÓN

El presente estudio fue diseñado para conocer el efecto de la suplementación energética y del amamantamiento sobre los cambios séricos de algunas hormonas metabólicas y metabolitos, durante el anestro posparto de vacas de doble propósito, mantenidas en clima tropical. Estudios realizados con vacas de razas europeas de alta producción dan una sólida evidencia experimental referente a los cambios endocrinos y de metabolitos, en respuesta a mecanismos homeorréticos y homeostáticos, que permiten el inicio y el mantenimiento de una lactación adecuada (Bauman y Currie, 1980, Tucker, 1988). En contraste, hasta el momento de efectuar el presente estudio, no se encontró información en la literatura que permitiera aproximarse al conocimiento de la endocrinología metabólica que se presenta durante el inicio y a través de la lactación de vacas de doble propósito. Nuestros resultados indican que la suplementación energética disminuyó la concentración sérica de AGNE de las vacas cuando se compararon con aquéllas que consumieron exclusivamente pasto durante todos los períodos en que se dividió el estudio. La concentración de AGNE se asoció de manera negativa con los consumos diarios de ENI, lo que muestra que a mayor disponibilidad de energía por parte de los animales disminuye la movilización de tejido adiposo que se presenta durante la lactación temprana. En efecto, en el Experimento 1, se informó que las vacas del presente estudio que consumieron exclusivamente pasto tropical, presentaron una drástica pérdida en su condición corporal durante los primeros 60 días posparto, en comparación con los animales que recibieron suplementación energética. Las mayores concentraciones de AGNE observadas en las vacas no suplementadas, coinciden con los resultados obtenidos en vacas Holstein que son sujetas a consumos hipocalóricos (Burgwald-Balstad y col. 1995). Asimismo, cabe mencionar que las vacas que no recibieron suplementación

energética, presentaron un balance energético negativo, aún durante el período de 61 a 120 días de lactancia. La relación negativa entre el balance energético diario y la concentración de AGNE encontrada en el presente trabajo, coincide con los resultados de Canfield y col (1990) y de Beam y Butler (1997), obtenidos con vacas lecheras altamente productoras donde observaron una relación negativa con un coeficiente de correlación de - 0.4 durante los primeros 30 dPP. En diversos estudios con vacas lecheras, el balance energético negativo observado durante el período posparto temprano, ha sido asociado de manera consistente con altas concentraciones de AGNE y cuerpos cetónicos y con bajas concentraciones de glucosa sanguínea (Akers, 1985; Collier y col. 1984). Lo anterior indica que en vacas lecheras el consumo limitado de energía durante la lactancia temprana y una alta producción de leche, generan una gluconeogénesis insuficiente y un aumento de la movilización de grasa tisular y de cetogénesis, lo que se tradujo en las vacas de doble propósito que estudiamos, en una marcada reducción de la condición corporal en los 60 días posparto (Experimento 1). El efecto del amamantamiento y su interacción con la suplementación energética se manifestó en las vacas NS-A quienes presentaron la concentración de AGNE más alta, en comparación con el resto de animales a través de todo el experimento. En el presente estudio todas las vacas amamantadas, independientemente de la dieta, tuvieron una mayor producción láctea y un mayor consumo de MS que los animales no amamantados (Experimento 1); sin embargo, el incremento en el consumo de pasto en las vacas amamantadas y no suplementadas con energía, no logró satisfacer sus demandas energéticas, por lo que mantuvieron concentraciones séricas mayores de AGNE y un balance energético negativo con relación a las vacas que recibieron suplementación. El suministro de suplementación energética durante el período posparto temprano aminoró la utilización de las reservas corporales y promovió una más rápida recuperación hacia el balance energético positivo en las vacas de doble propósito.

Desde el primer día hasta el 180 de la lactancia la concentración de NUS fue superior en los animales suplementados en comparación a los no suplementados. Asimismo, durante el intervalo comprendido entre los días 61 a 120, se observó que el amamantamiento y su interacción con la

dieta afectaron la concentración de NUS, ya que las vacas sin suplemento y sin becerro tuvieron una menor concentración que la de los animales en las otras combinaciones de tratamientos. Se ha propuesto que la concentración del nitrógeno ureico sanguíneo o en la leche puede servir como indicador del metabolismo nitrogenado, en respuesta a distintas condiciones dietéticas (Broderick y col. 1997). Así, se sugiere que la disminución de la concentración del NUS puede ser indicativa de una utilización más eficiente del nitrógeno (Hovell y col. 1983; Cole y Hutcheson, 1988, Cole y Hallford, 1994). Los mismos autores trabajando con borregos en crecimiento privados de alimento, agua y (o) sometidos a estrés causado por el transporte, observaron elevadas concentraciones de NUS en los animales al final del período de privación alimenticia o de estrés (Cole y Hutcheson, 1985; Cole y col. 1993). Se ha observado un aumento en la concentración sanguínea del NUS con dietas altas en proteína, suministradas a vacas de carne amamantantes (Rusche y col. 1993) y a vacas lecheras durante el período posparto (Carrol y col. 1988; Canfield y col. 1990). Además en vacas lecheras se observan altas concentraciones de NUS durante el período posparto temprano y una disminución de las mismas varias semanas después del parto (Carrol y col. 1988; Ferguson y col. 1988). En las vacas de doble propósito del presente estudio, se observó que aquéllas sujetas a una condición adversa (amamantadas y sin suplementar), la cual se derivó en una marcada pérdida de condición corporal durante los primeros 60 días posparto (Experimento 1), presentaron una concentración de NUS similar a la observada en las vacas suplementadas. En contraste, las vacas no suplementadas pero sin becerro y que nunca presentaron un estado de severo de emaciación, tuvieron la menor concentración en comparación a los demás grupos estudiados. Entonces las concentraciones de NUS observadas en los distintos grupos de vacas del presente estudio, fueron indicativas de una movilización de proteína tisular en animales que presentaron un proceso marcado de enflaquecimiento, pero también reflejaron el mayor consumo de N en los animales con acceso a la suplementación energética. Lo anterior indica que la interpretación de la concentración del NUS durante la lactación de vacas de doble propósito, debe ser valorada con mucha cautela y que la concentración de NUS no debe ser

utilizada como indicador único del grado de catabolismo proteico, durante la lactación de las vacas o para ajustar el contenido de proteína en la ración de estos animales.

Las concentración sérica de insulina fue mayor en las vacas que recibieron la suplementación energética durante los primeros 60 días posparto. En el mismo período se observó una interacción entre la suplementación energética y el amamantamiento, manifestada por la menor concentración de insulina de las vacas NS-A, en comparación a las medias de los otros grupos. La colección de suero se llevó a cabo cada cinco días antes de ofrecer el alimento matutino (valoración preprandial), por lo que no se puede determinar con precisión el grado de repuesta insulinogénica aguda a la dieta proporcionada a los animales; sin embargo, la colección de muestras se realizó siempre a la misma hora y en virtud de que existen evidencias recientes de ritmos intrínsecos en la secreción de insulina (Lefcourt y col. 1999), los valores de las concentraciones basales pueden reflejar los cambios en el estado crónico de los niveles de insulina, impuestos por los tratamientos a los que estuvieron sujetos los animales. Así, el grupo de vacas que comieron sólo pasto y fueron amamantadas, tuvo la menor concentración de insulina basal durante los primeros 60 días posparto en comparación con las medias de los otros grupos de vacas. Lo anterior puede ser consecuencia de que el grupo de vacas NS-A presentó un déficit en el balance energético y una drástica pérdida en puntos de condición corporal durante el inicio de la lactancia, a diferencia de los demás grupos; lo anterior es apoyado por la asociación significativa observada entre la concentración de insulina y los cambios semanales de condición corporal durante los primeros 60 días posparto. Aunque en el presente estudio no se determinó la concentración de la hormona del crecimiento, existen evidencias en estudios realizados con vacas lecheras, de que junto con el incremento de dicha hormona, ocurre la disminución de insulina durante el período posparto temprano, lo que sugiere que ambas hormonas desempeñan de manera sincrónica un papel importante en la promoción de la movilización de tejido adiposo, para satisfacer las necesidades de energía durante la lactación (Hart y col. 1978, Vasilatos and Wagness, 1981, Kunz y col. 1985).

El menor consumo de energía en los animales no suplementados redujo la concentración sérica de triyodotironina ( $T_3$ ) y de tiroxina ( $T_4$ ) en comparación con los que si recibieron el suplemento, durante los periodos 1 a 60, 61 a 120 y 121 a 180 días de lactancia. Así mismo, los animales que no recibieron suplemento energético tuvieron una menor relación  $T_3/T_4$  durante los primeros 120 días posparto. Debido a la existencia de evidencias de que factores climáticos, relacionados con las estaciones del año, afectan la concentración de hormonas tiroideas (Pérez y Fernández, 1989), con el fin de comparar valores de referencia de la concentración de  $T_3$  en animales bajo condiciones climáticas parecidas a los de la región donde se realizó la presente investigación, se revisó un estudio realizado por Aceves y col. (1985), quienes trabajaron con vacas Holstein puras mantenidas en clima tropical húmedo. Los valores observados durante los primeros 120 días posparto en las vacas suplementadas con energía de nuestro estudio, son similares a los obtenidos en las vacas Holstein lactantes del citado trabajo. En contraste, durante el mismo periodo, las vacas no suplementadas presentaron concentraciones de  $T_3$  muy bajas, parecidas a las observadas en bovinos sujetos a estrés calórico con cámaras climáticas (Johnson 1980) o a las vacas con inducción artificial de hipotiroidismo (Thrift y col. 1999). En cuanto a la concentración de  $T_4$ , se esperaba que fuera mayor en los animales no suplementados debido a la marcada disminución en su concentración de  $T_3$ , en comparación con los suplementados y a el menor cociente  $T_3/T_4$  observado en los animales sin suplemento. Sin embargo, las concentraciones de  $T_4$  de los animales que consumieron exclusivamente pasto fueron menores a las observadas en los animales suplementados energéticamente. Se ha determinado que durante el periodo posparto temprano, las vacas lecheras en explotación intensiva, sujetas a un fuerte estrés metabólico debido a una alta producción, presentan una disminución en las concentraciones de  $T_3$  y de  $T_4$ , así como un incremento en las concentración de  $rT_3$ , patrón que en otras especies se conoce como “síndrome parecido a la enfermedad eutiroidea” o “síndrome de la  $T_3$  disminuida” (Aceves y col. 1985). De la misma manera, las vacas del presente estudio que fueron suplementadas y amamantadas, presentaron una disminución en la concentración de  $T_3$  durante las primeras semanas posparto (Gráfica 1). Sin embargo, a diferencia de lo que se observa en los perfiles

tiroideos descritos para vacas lecheras, en la Gráfica 1 se puede observar que en las vacas con la mayor concentración de hormonas tiroideas la disminución de  $T_3$  fue acompañada por incrementos concomitantes de  $T_4$ , debido quizá a una reducción de la desiodación periférica de  $T_4$  a  $T_3$ . Las vacas suplementadas y amamantadas que presentaron el comportamiento tiroideo antes descrito, fueron superiores a los demás grupos de vacas tanto en la producción diaria de leche como en el consumo diario de energía. En contraste las vacas que no recibieron suplementación energética tuvieron concentraciones de  $T_3$  deprimidas, lo cual coincide con la baja producción de leche y el bajo consumo de energía. En estudios diseñados para inducir el hipotiroidismo en bovinos se ha observado que la ingestión de 6-n-propyl-2thiouracil (PTU), a concentraciones bajas (1mg/kg de peso corporal) suprime la actividad de la enzima 5' monodesiodasa, que es responsable de la conversión de  $T_4$  a  $T_3$  reduciendo por ende la concentración de  $T_3$  (Rumsey y col. 1985, Elsasser y col. 1992). En cambio la ingestión de altas dosis (4mg/Kg PC) de PTU tiene un efecto directo sobre la glándula tiroides, inhibiendo la iodación de la tiroglobulina y el acoplamiento de tirosinas iodadas a la forma de hormonas tiroideas; deprimiendo por lo tanto la concentración de  $T_4$  (Taurog 1996). Los resultados de los trabajos mencionados, indican que las vacas no suplementadas del presente estudio presentaron durante gran parte del mismo, síntomas de un estado hipotiroideo parecido al que se induce con altas dosis de PTU. Además se observó que el amamantamiento y su interacción con la dieta fueron determinantes en los cambios de la función tiroidea de los animales del presente estudio. Así por ejemplo, mientras en el grupo de las vacas que fueron suplementadas energéticamente y que no amamantaron a su cría se observó una recuperación en la concentración de  $T_4$  después de los 60 días, las vacas no suplementadas y no amamantadas mantuvieron aún la menor concentración de los cuatro grupos estudiados; por el contrario el grupo amamantado y que sí recibió suplemento energético tuvo la mayor concentración de  $T_4$  de todos los animales estudiados. Cabe mencionar que las vacas no suplementadas y amamantadas continuaron perdiendo gran cantidad de sus reservas corporales aún después de los 60 días posparto, en comparación con el resto de los grupos, lo cual es consistente con los cambios en los metabolitos y hormonas analizados durante dicho periodo. Se

sabe que las hormonas tiroideas ejercen sus efectos en muchos tejidos e influyen en el metabolismo energético en los rumiantes (Blaxter y col. 1949). El hipotirodismo es caracterizado por un decremento en la tasa de consumo de oxígeno por unidad de área de superficie corporal y una disminución en la producción de calor (Loeb, 1996). La principal consecuencia de estos cambios es un decremento en la tasa metabólica basal. Lo anterior sugiere que cuando el consumo de pastos de baja calidad no satisface las demandas de energía impuestas por la lactación, las cuales son magnificadas por el amamantamiento intenso del becerro, se presentan cambios en la actividad de las enzimas desiodasas, dirigidos a disminuir la tasa metabólica basal, con el fin de canalizar la energía proveniente del alimento y la proveniente de la movilización de reservas corporales, hacia la producción de leche por la glándula mamaria. Sin embargo, independientemente de los cambios en la concentración de las hormonas tiroideas y de la suplementación energética, la producción de leche de las vacas amamantadas fue superior a la registrada en las destetadas permanentemente. Además la concentración de  $T_3$  se asoció de manera significativa con la producción diaria de leche. Entonces el hecho de que las vacas amamantadas y no suplementadas presentaran invariablemente valores bajos en la concentración y cociente de las hormonas tiroideas durante los primeros 120 días posparto y en contraste las amamantadas con acceso a suplementación energética tuvieron los valores más altos, indica que en función de la disponibilidad de energía por parte de la madre, la presencia del becerro modula la estrategia en el reordenamiento metabólico, mediado por hormonas como las tiroideas, para asegurar el suministro de leche al propio becerro. Debido a que en todas las épocas en que se llevó a cabo el presente estudio hubieron vacas de cada tratamiento, los resultados aquí generados proporcionan una fuerte evidencia de que las variaciones en las concentraciones de  $T_3$  y  $T_4$  observadas en vacas mantenidas bajo condiciones tropicales, son determinadas principalmente por el nivel de consumo de energía y no por los cambios climáticos.

## CONCLUSIONES

En resumen, la suplementación energética ofrecida a vacas cuya dieta base consiste en pastos tropicales, aumentó las concentraciones séricas de NUS, insulina, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, el cociente T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub>, y redujo los niveles de AGNE. El amamantamiento del becerro, en cambio, interactuó reduciendo la insulina exclusivamente en vacas que no recibieron suplemento; en contraste el amamantamiento aumentó los AGNE y el NUS en dichas vacas. Por el contrario, cuando las vacas fueron amamantadas, todas las variables de función tiroidea aquí consideradas, aumentaron en las vacas suplementadas y disminuyeron en las que no lo fueron. Los análisis indicaron una correlación nula de NUS con el consumo de energía, el BE, la condición corporal y la producción láctea; Así mismo, la insulina sólo se correlacionó con la condición corporal. Por lo tanto la primera conclusión es que ni el NUS, ni la insulina son indicadores adecuados del estado nutricional en vacas de doble propósito.

Los efectos mencionados de la dieta y el amamantamiento, más las correlaciones negativas de AGNE con el consumo de energía y el BE, confirman que dicho metabolito es parte de los mecanismos homeorréticos que apoyan el inicio y el mantenimiento de lactación en las vacas.

Los cambios antes citados inducidos por la dieta y el amamantamiento en las hormonas tiroideas, así como la correlación particularmente significativa de T<sub>3</sub> con el consumo de energía, el BE y la producción de leche, nos permiten concluir que los niveles séricos de T<sub>3</sub> representan el mejor indicador del estado nutricional de las vacas destinadas al doble propósito y proponer a dicha hormona como un mediador de los efectos de la nutrición, en los cambios metabólicos que experimentan durante la lactación.

Hasta donde sabemos, las variaciones séricas de T<sub>3</sub> no habían sido caracterizadas anteriormente en vacas de doble propósito mantenidas en el trópico. En este trabajo, las vacas que recibieron suplemento energético tuvieron niveles y cambios dinámicos de dicha hormona comparables a los registrados en vacas lecheras altas productoras y en BE negativo, los cuales son considerados por algunos autores (Aceves y col. 1985) como similares a la condición eutiroidea de los humanos. No obstante, las vacas que se mantuvieron exclusivamente con pasto, mostraron concentraciones

de  $T_3$  muy inferiores a las de las vacas de doble propósito suplementadas y de las vacas lecheras en BE negativo. Consecuentemente, concluimos que los pastos tropicales como único sustento energético de las vacas de doble propósito, desencadenan una deficiencia tiroidea extrema, cuyas repercusiones en el metabolismo, la producción láctea y la reproducción permanecen sin definir.

Cuadro 9. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de ácidos grasos no esterificados, durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Concentración sérica de ácidos grasos no esterificados (mEq l <sup>-1</sup> )				
PERÍODO/d Parámetro	0-60	61-120	121-180	181-240
<u>Factores principales*</u>				
NS	1.02a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	0.58a (15)	0.50a (10)	0.31a (9)
S	0.79b (19)	0.39b (14)	0.37b (6)	0.23b (2)
A	0.97 (20)	0.52a (20)	-	-
NA	0.83 (18)	0.45b (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS-A	1.14a (10)	0.62a (10)	-	-
NS-NA	0.89b (9)	0.54b (5)	-	-
S-A	0.80bc (10)	0.43c (10)	-	-
S-NA	0.77c (9)	0.36c (4)	-	-
E.E.	0.08 <sup>3</sup>	0.05	0.03	0.42
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.05
A	.07	.01	-	-
S*A	.04	.85	-	-
Medida en el tiempo	.01	.02	.08	.02
Cov. CCP <sup>4</sup>	.34	-	-	-
R <sup>2</sup>	.70	.50	.40	.42

<sup>1</sup>a, b, c. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 10. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de nitrógeno ureico, durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Concentración sérica de nitrógeno ureico (mM)				
PERÍODO	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales*</b>				
NS	4.83a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	4.73a (15)	5.44a (10)	4.94 (9)
S	5.35b (19)	5.62b (14)	6.61b (6)	4.45 (2)
A	5.28 (20)	5.51a (20)	-	-
NA	4.91 (18)	4.64b (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	5.12ab (10)	5.33a (10)	-	-
NS-NA	4.55b (9)	4.14b (5)	-	-
S-A	5.44a (10)	5.70c (10)	-	-
S-NA	5.27a (9)	5.55ac (4)	-	-
E.E.	0.36 <sup>3</sup>	0.15	.22	.42
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.01	.08
A	.22	.01	-	-
S*A	.16	.01	-	-
Medida en el tiempo	.07	.28	.04	.01
Cov. CCP <sup>4</sup>	.67	-	-	-
R <sup>2</sup>	.47	.54	.66	.59

<sup>1</sup>a, b, c. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 11. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de insulina, durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Concentración sérica de insulina ( $\mu\text{U/ml}$ )				
<u>PERÍODO</u>	<u>0-60</u>	<u>61-120</u>	<u>121-180</u>	<u>181-240</u>
<u>Parámetro</u>				
<u>Factores principales*</u>				
NS	5.54a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	5.80 (15)	5.84 (10)	6.54a (9)
S	5.92b (19)	5.95 (14)	6.97 (6)	11.42b (2)
A	5.59 (20)	5.81 (20)	-	-
NA	5.87 (18)	5.94 (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS-A	5.09a (10)	5.58 (10)	-	-
NS-NA	5.98b (9)	6.02 (5)	-	-
S-A	6.09b (10)	6.04 (10)	-	-
S-NA	5.77b (9)	5.86 (4)	-	-
E.E.	0.36 <sup>3</sup>	0.21	0.4	0.42
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.02	.41	.88	.01
A	.09	.54	-	-
S*A	.05	.15	-	-
Medida en el tiempo	.07	.46	.33	.15
Cov. CCP <sup>4</sup>	.06	-	-	-
R <sup>2</sup>	.35	.31	.16	.57

<sup>1</sup>a, b En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 12. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de triyodotironina (T<sub>3</sub>), durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

PERÍODO Parámetro	Concentración sérica de triyodotironina (T <sub>3</sub> ; ng/dl)			
	0-60	61-120	121-180	181-240
<b>Factores principales*</b>				
NS	16.97a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	23.48a (15)	17.21a (10)	20.58 (9)
S	61.13b (19)	51.21b (14)	31.24b (6)	26.9 (2)
A	45.10a (20)	40.41 (20)	-	-
NA	32.99b (18)	34.27 (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	14.29a (10)	18.80a (10)	-	-
NS-NA	19.64a (9)	28.15b (5)	-	-
S-A	75.91b (10)	62.03c (10)	-	-
S-NA	46.34c (9)	40.39d (4)	-	-
E.E.	10 <sup>3</sup>	3.58	-	-
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.04	.29
A	.02	.11	-	-
S*A	.01	.01	-	-
Medida en el tiempo	.59	.29	.56	.21
Cov. CCP <sup>4</sup>	.21	-	-	-
R <sup>2</sup>	.71	.85	.43	.58

<sup>1</sup>a, b, c, d. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 13. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la concentración sérica de tiroxina (T<sub>4</sub>), durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Concentración sérica de tiroxina (T <sub>4</sub> ; µg/dl)				
<u>PERÍODO</u> Parámetro	<u>0-60</u>	<u>61-120</u>	<u>121-180</u>	<u>181-240</u>
<u>Factores principales*</u>				
NS	2.70a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	2.83a (15)	2.77a (10)	2.72 (9)
S	3.35b (19)	3.42b (14)	3.67b (6)	2.24 (2)
A	3.15a (20)	3.25a (20)	-	-
NA	2.90b (18)	2.99b (9)	-	-
<u>Combinación de Tratamientos</u>				
NS-A	2.60a (10)	2.51a (10)	-	-
NS-NA	2.79ac (9)	3.13b (5)	-	-
S-A	3.69b (10)	3.98c (10)	-	-
S-NA	3.01cb (9)	2.86ab (4)	-	-
E.E.	.26 <sup>3</sup>	.26	.22	.19
<u>Modelo (P&gt;F)</u>				
S	.01	.01	.01	.09
A	.02	.05	-	-
S*A	.01	.01	-	-
Medida en el tiempo	.01	.40	.28	.04
Cov. CCP <sup>4</sup>	.60	-	-	-
R <sup>2</sup>	.59	.61	.59	.45

<sup>1</sup>a, b, c. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 14. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la relación de tiroxina con triyodotironina ( $T_4/T_3$ ), durante el anestro posparto de vacas de doble propósito en clima tropical.

Relación de tiroxina con triyodotironina ( $T_4/T_3$ ).				
PERÍODO	0-60	61-120	121-180	181-240
Parámetro				
<b>Factores principales*</b>				
NS	0.008a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	0.008a (15)	0.008 (10)	0.009 (9)
S	0.027b (19)	0.020b (14)	0.010 (6)	0.010 (2)
A	0.018 (20)	0.016 (20)	-	-
NA	0.016 (18)	0.013 (9)	-	-
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
NS-A	0.007a (10)	0.008 (10)	-	-
NS-NA	0.009a (9)	0.009 (5)	-	-
S-A	0.030b (10)	0.024 (10)	-	-
S-NA	0.022c (9)	0.017 (4)	-	-
E.E.	.005 <sup>3</sup>	.002	.001	.001
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.01	.01	.36	.20
A	.25	.27	-	-
S*A	.01	.08	-	-
Medida en el tiempo	.29	.08	.91	.50
Cov. CCP <sup>4</sup>	.60	-	-	-
R <sup>2</sup>	.59	.86	.40	.45

<sup>1</sup>a, b, c. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

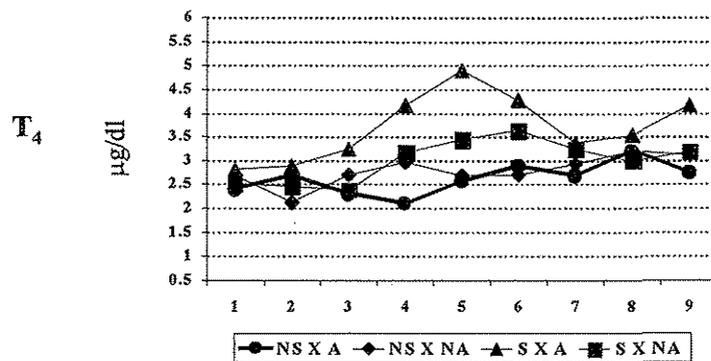
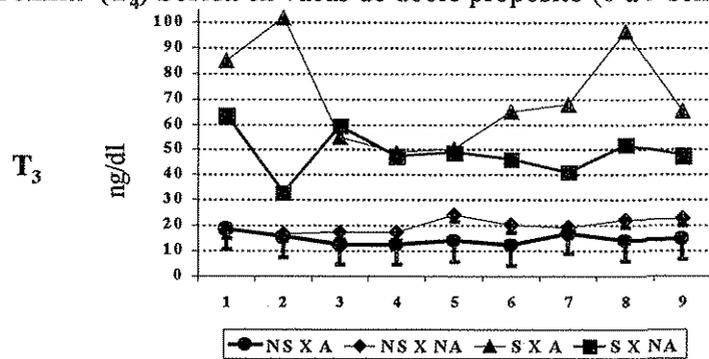
<sup>2</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto *ad libitum* más suplementación energética); NS=( Pasto *ad libitum* sin suplementación energética); A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

**GRÁFICA 1.** Perfiles de las concentraciones de **Triyodotironina (T<sub>3</sub>)** Sérica y **Tiroxina (T<sub>4</sub>)** Sérica en vacas de doble propósito (0 a 9 semanas posparto).



### **EXPERIMENTO 3:**

**EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGÍA  
METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN  
SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO TROPICAL: III.- DESARROLLO  
FOLICULAR Y EL ANESTRO POSPARTO.**

**EFFECTOS DE LA DIETA Y EL AMAMANTAMIENTO EN LA FISIOLÓGIA  
METABÓLICA Y REPRODUCTIVA POSPARTO DE VACAS BAJO UN SISTEMA DE  
DOBLE PROPÓSITO TROPICAL:III.- DESARROLLO FOLICULAR Y EL ANESTRO  
POSPARTO.**



**INTRODUCCIÓN**

En los sistemas conocidos como de doble propósito, las vacas además de ser ordeñadas, crían al becerro hasta el destete. Debido a tal dualidad productiva, el período posparto se caracteriza por intervalos de anestro posparto aún más largos que los observados en el ganado productor de carne (Escobar y col. 1984; Rosete y col. 1993). La mayoría de los estudios sobre el anestro posparto, se han realizado en vacas productoras de carne de origen europeo y con base en los resultados derivados de esas investigaciones, se sabe que la nutrición y el amamantamiento son los factores de mayor importancia que determinan la longitud de dicho parámetro (Dunn y Kaltenbach 1980; Short y col. 1990; Randel 1990). Los animales que tienen acceso a una nutrición adecuada durante el período preparto presentan intervalos de anestro más cortos que animales subalimentados (Wiltbank y col 1964; Reardon y col. 1978). Así mismo, existen evidencias de que la condición corporal al parto (Osoro y col. 1992; Wriqth y col. 1992) y los cambios de peso y de condición corporal durante el período posparto (Rutter y col 1984; Rakestraw y col. 1986), afectan tanto la duración del anestro como la tasa de concepción. En el caso de las vacas productoras de leche, se ha observado que el grado del balance energético negativo estimado durante el período posparto temprano, se correlaciona con los días a la primera ovulación (Butler y col. 1981), y que además existe una alta correlación entre los días al nadir del balance energético y los días a la primera ovulación (Canfield y Butler, 1990). Por otro lado, Villa-Godoy y col. (1988) observaron que el intervalo del parto al nadir del balance energético durante el período posparto y la magnitud de dicho nadir, interactuaron para reducir la concentración de progesterona del segundo y tercer ciclos estrales posparto. El efecto negativo del amamantamiento sobre el retorno a la actividad cíclica en el posparto ha sido ampliamente documentado en vacas productoras de carne Bos taurus (Williams y col. 1990) y de leche

(Carrhuters y Hafs, 1980). En el caso de los sistemas de doble propósito, se emplean distintos esquemas para controlar el amamantamiento y aún así la duración del anestro posparto se prolonga de 126 a 375 días (Rosete y col. 1993; Villa-Godoy y Arreguín , 1993). Se ha postulado que el déficit energético acentúa el efecto negativo del amamantamiento sobre el comportamiento reproductivo posparto (Browning y col. 1994; Williams y col. 1990). Por la importancia que tienen el amamantamiento y la nutrición sobre el retorno a la actividad ovárica cíclica posparto, es necesario investigar las posibles interacciones de tales efectos sobre la actividad reproductiva de las vacas durante la lactancia. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos sólo y asociados de la alimentación y del amamantamiento sobre las variaciones en el desarrollo de los folículos ováricos, la aparición del primer cuerpo lúteo y la duración del anestro posparto (PP) en vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical. Un objetivo colateral fue determinar la relación de las variables reproductivas en estudio con el consumo voluntario de alimento, la producción láctea, la condición corporal, el balance energético (BE) y los cambios endocrinológicos posparto.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Diseño, animales, alimentación y manejo de la cría

Se utilizaron 38 vacas recién paridas (con 2 ó más partos) de la cruce entre Bos taurus y Bos indicus, con una proporción de sangre de 50 a 75% de la raza Pardo Suizo americano o de la Holstein. Todos los animales se mantuvieron bajo condiciones controladas hasta el segundo estro posparto, siendo asignados al azar a cuatro grupos derivados de un arreglo factorial 2 X 2, cuyos factores principales fueron la alimentación y el amamantamiento.

La combinación de tratamientos fué:

NS-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

NS-NA =Vacas con dieta similar a la anterior y sin amamantamiento del becerro (n=9).

S-A =Vacas con disponibilidad ad libitum de forraje tropical más suplementación energética de acuerdo a sus requerimientos de mantenimiento y producción láctea, y amamantamiento del becerro por 7 h al día (n=10).

S-NA =Vacas con dieta similar a la del tratamiento tres y sin amamantamiento del becerro (N=9). Para evitar deficiencias de proteína que enmascararan los efectos de la variación de las dietas en cuanto a su contenido energético, se ofreció a las vacas que consumieron sólo forraje, harina de carne (39% de proteína cruda), en una cantidad que permitiera aproximadamente un 10 % de rechazo de la misma; la harina de carne fué la principal fuente de proteína del suplemento energético. Con el fin de medir el consumo individual de alimentos, las vacas fueron alojadas en corrales individuales de aproximadamente 7 m<sup>2</sup>, con área techada y piso de concreto más un espacio sin techo y piso de arena; todos los corrales tuvieron comederos para pasto y para el suplemento por separado, así como bebederos. Los animales tuvieron libre acceso a sales minerales y agua. Los ingredientes del concentrado energético fueron maíz molido (44.4%), harina de carne (29.65%), pulido de arroz (15.99%), melaza de caña (8%), sal común (0.79%) y sales minerales (Superbayphos de Bayer; 0.79%); el concentrado energético contenía 1.55 Mcal de energía neta de la lactación (ENL) y 18 % de proteína cruda por kg.

El becerro de las vacas asignadas a los tratamientos NS-NA y S-NA, fue separado en un término de tiempo igual o menor a las 6 horas posparto y las vacas fueron ordeñadas dos veces al día; en los tratamientos NS-A y S-A el becerro permaneció con la vaca por 7 h/día, sin acceso al alimento de la madre y las vacas fueron ordeñadas una sólo vez al día. La información detallada del manejo de los becerros y vacas, de medición de la condición corporal, el cálculo del balance energético (BE) así como la determinación de los cambios de algunas hormonas metabólicas y metabolitos fue documentada previamente en el Experimento I y el Experimento II.

Para la detección del estro, las vacas fueron observadas dos veces al día en períodos de una hora (07:00 y 17:00 h). El criterio de estro fue la aceptación de la monta homosexual por cuando menos dos segundos.

#### Ultrasonografía de los ovarios y clasificación folicular

Mediante un aparato Aloka 210 equipado con un explorador intrarrectal de 5 Mhz, se obtuvieron imágenes ultrasonográficas de las estructuras ováricas. Las imágenes fueron

almacenadas en una reproductora de video y las mediciones e interpretación de las mismas se hicieron posteriormente en un monitor de televisión.

Los registros ultrasonográficos se realizaron cada tercer día a partir de el día 10 posparto y terminaron cuando se presentó el segundo estro posparto, seguido de ovulación. La ovulación fue indicada por la desaparición súbita de un folículo grande de un día a otro en la imagen ultrasonográfica, seguida por un incremento por encima de 1 ng/ml en la concentración de progesterona y que coincidió con la detección ultrasonográfica de tejido lúteo.

Se realizó un inventario de todos los folículos de 5 mm o más de diámetro. En el caso de folículos que no fueron esféricos, se promediaron los diámetros máximo y mínimo. Los folículos se clasificaron en tres categorías de acuerdo a su diámetro: pequeños (5 a 7.9 mm), medianos (8 a 9.9 mm) y grandes ( $\geq 10$  mm). Tomando como referencia estudios realizados en vacas en anestro posparto (Spicer y col. 1989; Perry y col, 1991), se determinó la primera aparición en el periodo posparto de folículos de cada categoría. La vida de un folículo fue el intervalo comprendido entre el día de su primera detección y el momento en que se observó una disminución en su diámetro por debajo de los 5 mm. Para determinar el número de ondas foliculares, se realizó un diagrama cronológico y se dió seguimiento a cada folículo dominante y los dos folículos subordinados mayores, como referencia.

#### Colección de muestras sanguíneas y análisis de laboratorio

Para determinar la duración del anestro y confirmar las observaciones ultrasonográficas de las estructuras lúteas, se colectaron muestras de sangre a intervalos de cinco días del primer día posparto hasta la presentación del primer estro posparto con ovulación. La sangre fue refrigerada por 24 h para su proceso de coagulación y se centrifugó para la colección de suero. El suero fue congelado a -20 C hasta su proceso para la cuantificación de progesterona (P<sub>4</sub>). Para ello se usó un estuche comercial de fase sólida (DPC, Los Angeles Ca.). La sensibilidad mínima de los ensayos fue de 0.03 ng/ml y los coeficientes de variación intraensayo e interensayo fueron de 4.6 % y 8.7 %, respectivamente. La presencia de un cuerpo lúteo fue determinada cuando la concentración de P<sub>4</sub> de dos muestras consecutivas fue superior a 1 ng/ml

#### Variabes de respuesta y análisis estadístico

La duración del anestro posparto (PESTRO) fue el intervalo del parto al primer estro seguido de un cuerpo lúteo normal.

El intervalo a la aparición del primer cuerpo lúteo posparto (PCL), fue el número de días del parto a la primera ovulación precedida o no de estro.

Con relación al tiempo de aparición de folículos, se consideraron las siguientes variables y categorías de tamaño folicular: el intervalo del parto al desarrollo de folículos pequeños con diámetro entre 5 y 7.9 mm (IP1FP); el intervalo del parto al desarrollo de folículos medianos con diámetro entre 8 a 9.9 mm (IP1FM) y el intervalo del parto al desarrollo de folículos grandes con diámetro mayor o igual a 10 mm (IP1FG).

La duración de la fase de crecimiento folicular (DURCRE), fué el lapso durante el cual el folículo dominante presentó un incremento progresivo de su tamaño; inició cuando el folículo identificado como dominante alcanzó un diámetro de 5 mm y finalizó el primer día, de por lo menos dos muestreos consecutivos sin crecimiento del folículo.

La duración de la fase de meseta folicular (DURME), fue el período durante el cual se mantuvo el tamaño máximo del folículo dominante; inició el primer día de dos muestreos sucesivos sin crecimiento y finalizó el día previo a la detección de una disminución progresiva en el tamaño del folículo dominante. Cuando se detectó un cambio súbito de la fase de crecimiento a la de atresia, se asignó un día de duración a la fase de meseta.

La duración de la fase de atresia folicular (DURTRE), fue cuando se observó una disminución progresiva del folículo dominante; inició el día posterior al fin de la fase de meseta y terminó cuando el folículo dominante en regresión alcanzó un diámetro menor o igual a 5 mm.

La duración de la onda folicular (DURON), comprendió los días transcurridos entre el inicio de la fase de crecimiento folicular y el fin de la fase de atresia del folículo dominante.

El diámetro máximo del folículo dominante (DFG) se determinó durante la fase de crecimiento de las ondas foliculares registradas durante los primeros 40 días posparto.

Para examinar el PESTRO, el PCL, el IP1FP, el IP1FPM, el IP1FG, el DFG y el número de ondas foliculares (NOF) en los primeros 40 días posparto se realizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial ( 2x2 ) bajo el siguiente modelo de efectos fijos:

$$y = \mu + S_i + A_j + SA_{ij} + \sum_{(ijkl)m}$$

Donde:  $y$  es el intervalo del parto al primer estro ó al primer CL ó al primer folículo pequeño ó al primer folículo mediano ó al primer folículo grande ó el número de ondas foliculares en los primeros 40 días ó el diámetro del folículo grande en los primeros 40 días en el  $i$ -ésimo

suplemento energético y el j-ésimo amamantamiento:

$\mu$  : Es la media teórica de la población.

$S_i$ : Efecto del i-ésimo suplemento energético ( con o sin suplemento energético).

$A_j$ : Efecto del j-ésimo amamantamiento ( con o sin amamantamiento del becerro).

$SA_{ij}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo suplemento con el j-ésimo amamantamiento.

$\Sigma_{(ijk)}$ : Error aleatorio con distribución NID  $(0, \sigma^2)$ .

La duración de la onda folicular y sus fases, así como el diámetro máximo del folículo dominante, en varias ondas de desarrollo folicular fueron examinadas con un análisis de varianza en un arreglo factorial  $(2 \times 2)$  con observaciones repetidas en la vaca (Littel y col. 1998).

El modelo al cual se le atribuye el total de la variación es representado como:

$$\psi = \mu + S_i + A_j + SA_{ij} + V_{(ij)k} + \delta_{(ijk)} + O_l + SO_{il} + AO_{jl} + SAO_{ijl} + VO_{(ijkl)} + \Sigma_{(ijkl)m}$$

Donde:  $\psi$  es la duración de la onda folicular ó de la fase de crecimiento ó de la fase de meseta ó de la fase de atresia en el i-ésimo suplemento energético y el j-ésimo amamantamiento de la k-ésima vaca en la l-ésima onda folicular.

$\mu$  : Es la media teórica de la población.

$S_i$ : Efecto del i-ésimo suplemento energético ( con o sin suplemento energético).

$A_j$ : Efecto del j-ésimo amamantamiento ( con o sin amamantamiento del becerro).

$V_{(ij)k}$ : Efecto de la j-ésima vaca dentro del i-ésimo suplemento energético y el j-ésimo amamantamiento.

$\delta_{(ijk)}$  : Error de restricción.

$O_l$ : Efecto de la l-ésima onda folicular

$SO_{il}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo suplemento con la l-ésima onda folicular.

$AO_{jl}$ : Efecto de la interacción del j-ésimo amamantamiento con la l-ésima onda folicular.

$SAO_{ijl}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo suplemento con el j-ésimo amamantamiento en

la l-ésima onda folicular.

$VO_{(ij)kl}$ : Efecto de la vaca dentro de la l-ésima onda folicular.

$\Sigma_{(ijk)m}$ : Error aleatorio con distribución NID  $(0, \sigma^2)$ .

Los contrastes entre medias se realizaron por la prueba de comparaciones múltiples de medios mínimos cuadrados (SAS, 1989). La condición corporal al parto fue la única covariable que resultó ser significativa ( $P < 0.05$ ), por lo que se incluyó en todos los modelos estadísticos usados. La distribución de los animales por raza y nivel de sangre en las distintas combinaciones de tratamientos fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ), por lo cual no se incluyó la raza como factor en los análisis estadísticos. Mediante correlaciones simples (SAS, 1989), se examinó la asociación de las variables reproductivas mencionadas anteriormente, con las variables de producción, corporales y metabólicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La suplementación energética aceleró la presentación del primer estro posparto, ya que las vacas suplementadas tuvieron una duración del anestro menor ( $P < 0.01$ ) que la de las vacas no suplementadas (Cuadro 15). El efecto del amamantamiento sobre la duración del anestro fue evidente, ya que la presencia del becerro prolongó la duración del anestro en comparación con las vacas sin becerro ( $P < 0.01$ ; Cuadro 15). Se detectó una interacción entre los efectos principales ( $P = 0.02$ ), ya que la diferencia debida al amamantamiento fue de 163.3 días (246.5 – 83.2 días Cuadro 15) en las vacas no suplementadas energéticamente y de 66.8 días (135.2 – 68.4 días Cuadro 15) en las suplementadas; los grupos no amamantados fueron similares entre sí, independientemente de la dieta recibida ( $P > 0.05$ ). Además, se observó que la naturaleza de la interacción entre la deficiencia energética y el amamantamiento fue aditiva, en cuanto a la duración del intervalo del parto al primer estro, puesto que de acuerdo con las cifras del Cuadro 15, la suma ( $63 + 115.1 = 178.1$ ) de las diferencias de las vacas suplementadas con las no suplementadas ( $190.9 - 75.8 = 115.1$ ) es igual a las diferencias entre las interacciones más extremas (NS-A, S-NA  $246.5 - 68.4 = 178.1$ ).

El objetivo central del presente estudio fue valorar la interacción de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la duración del anestro posparto en vacas de doble propósito. Los resultados obtenidos apoyaron nuestra hipótesis de que el consumo de forrajes tropicales sin suplementación energética por vacas que a su vez son sujetas a un amamantamiento intenso, resulta en una extensa duración del anestro posparto. Los resultados apoyan además lo mostrado en estudios con vacas productoras de carne, donde la nutrición y el amamantamiento son los factores de mayor importancia que determinan la longitud del anestro posparto (Dunn y Kaltentbach 1980; Short y col. 1990; Randel 1990). La duración del anestro se asoció de manera negativa ( $P=0.0001$ ) con el consumo diario de energía del suplemento ( $r = -0.31$ ), el consumo diario de energía total ( $r = -0.36$ ) y los cambios semanales de condición corporal ( $r = -0.75$ ). Es importante destacar que en el presente estudio las vacas parieron en una condición corporal ( $3.4 \pm 0.6$ ) igual o superior a la recomendada como óptima. Además, en los modelos estadísticos del presente estudio, se incluyó la condición corporal de las vacas al parto, la cual resultó poco relevante en la explicación de la variación del intervalo del parto a la al primer estro posparto (Cuadro 15). Entonces las asociaciones entre variables de consumo y condición corporal con la duración del anestro posparto, evidencian la influencia que ejerce el consumo de energía dietética y los cambios de condición corporal después del parto sobre el retorno al estro en vacas de doble propósito. Lo anterior concuerda con estudios en los cuales se observó que los cambios de peso y de condición corporal de vacas de carne durante el periodo posparto (Rutter y col 1984; Rakestraw y col. 1986) afectan tanto a la duración del anestro como las tasas de concepción. En contraste, no coincide con varios autores (Dunn y col. 1980; Richards y col. 1986; Short y col. 1990), quienes sostienen que si bien las pérdidas de condición corporal después del parto contribuyen con un aumento en la duración del anestro, sus efectos son amortiguados por una alimentación que permita a las vacas llegar al parto en una condición corporal adecuada. Es posible que esta diferencia esté relacionada con el carácter dual de producción de las vacas de doble propósito, las que por producir más leche que las de carne tienen también mayores demandas energéticas, que de no ser satisfechas, provocan un balance energético más negativo y mayores pérdidas de condición corporal. Lo anterior es similar a lo observado en las vacas lecheras, en las que si bien la condición corporal al parto es importante, los cambios de condición y del balance energético en los primeros 20 días posparto tienen un mayor efecto en las funciones

reproductivas (Butler y Smith, 1989). Alternativamente, la menor calidad de los pastos tropicales con relación a los forrajes que consume el ganado en otras latitudes (Poppi y McLennan, 1995), podría explicar al menos parcialmente, las diferencias observadas en cuanto al impacto que la condición corporal al parto y sus cambios posparto tienen en la reproducción de las vacas productoras de carne (Dunn y col. 1980; Richards y col. 1986) y de las vacas de doble propósito del presente trabajo. La mayor duración del anestro posparto de las vacas amamantadas en comparación con las destetadas permanentemente observada en el presente estudio, concuerda con los resultados obtenidos en vacas productoras de carne amamantadas a discreción o dos veces al día, que mostraron una duración del anestro posparto más prolongada que vacas destetadas permanentemente y ordeñadas dos o cinco veces al día (Lamb y col. 1999) y con los resultados de estudios con vacas lecheras sujetas a amamantamiento o a el ordeño (Carruthers y Hafs, 1980). La duración del anestro se relacionó ( $P=0.0001$ ) positivamente con la concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE;  $r = 0.27$ ) y el intervalo del parto al primer estro se asoció ( $P=0.0001$ ) con la concentración de triyodotironina ( $T_3$ ;  $r = -0.22$ ), ambas hormonas asociadas con el estado metabólico de las vacas durante el período posparto. La información en la literatura sobre la relación entre el comportamiento reproductivo de bovinos y la concentración de hormonas tiroideas es escasa. Rasby y col. (1991), no observaron efectos de el consumo de nutrimentos o de la condición corporal sobre el contenido de hormona luteinizante (LH) en la pituitaria y las concentraciones séricas de tiroxina ( $T_4$ ), después de la aplicación de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) o de la hormona liberadora de tirotropina (TRH) a vacas productoras de carne Bos taurus no lactantes. Sin embargo, mediante la manipulación de hormonas tiroideas en ganado Brahman, se observó que vacas lactantes hipertiroideas tuvieron una mayor proporción de ciclos estrales anormales, que las vacas hipotiroideas y las normales durante el otoño y el invierno temprano, en comparación con las otras estaciones del año (DeMoraes y col. 1998). Por otro lado, Thift y col. (1999), observaron que la inducción de hipotiroidismo en vacas primíparas Brahman lactantes, tendió a incrementar el intervalo de anestro posparto y el intervalo del parto a la preñez en comparación con las vacas no tratadas. En el presente estudio las vacas que no recibieron suplemento energético, independientemente de si fueron o no amamantadas, presentaron concentraciones reducidas de  $T_3$  y  $T_4$ , semejantes a un estado hipotiroideo (Experimento 2). Sin embargo, las no amamantadas y sin suplemento

incrementaron la concentración de  $T_4$  después de los 60 dPP, mientras que las amamantadas y sin suplemento continuaron con las concentraciones deprimidas de ambas hormonas tiroideas. Entonces, los resultados del presente estudio así como de otros discutidos en párrafos anteriores, permiten sugerir que la función tiroidea de las vacas cebú y sus cruizas con razas europeas, pueden ser más sensibles a la disponibilidad de energía dietética, debido posiblemente a un mecanismo de adaptación a las condiciones de alimentación y demandas fisiológicas con que se desarrollaron en el trópico, con el fin de asegurar la sobrevivencia de sus crías.

La aparición del primer cuerpo lúteo posparto fué acelerada por la suplementación energética, ya que las vacas suplementadas tuvieron un intervalo más corto que los animales que no fueron suplementados con energía ( $P < 0.01$ ; Cuadro 15). En contraste, el amamantamiento retrasó el PCL, en comparación con las vacas que no amamantaron al becerro ( $P = 0.02$ ; Cuadro 3). La interacción entre la dieta y el amamantamiento no alcanzó a ser significativa ( $P = 0.06$ ); sin embargo, las vacas amamantadas y sin suplementación energética mostraron el período más largo de todos los grupos ( $P < 0.05$ ; Cuadro 1). Al igual que con el PESTRO, la naturaleza de la interacción entre la deficiencia energética y el amamantamiento fué aditiva, en cuanto al PCL según las cifras del Cuadro 15, debido a que la suma de las diferencias ( $51 + 69.7 = 120.7$ ) entre vacas suplementadas con las no suplementadas ( $112.8 - 61.8 = 51$ ), más las diferencias entre las vacas con becerro y sin él ( $122.2 - 52.5 = 69.7$ ), fué similar a las diferencias entre las interacciones extremas ( $166.9 - 46.27 = 120.7$ ). El análisis de correlación indicó asociaciones negativas ( $P = 0.0001$ ) entre el PCL y las siguientes variables: el consumo de energía en el suplemento ( $r = -0.29$ ), el consumo de la energía total ( $r = -0.21$ ), el balance energético diario ( $r = -0.25$ ), la magnitud del nadir del balance energético negativo ( $r = -0.39$ ) y la condición corporal medida semanalmente ( $r = -0.30$ ), registrados durante los primeros 30 días posparto. Estos resultados evidencian que algunos de los factores propuestos como moduladores de la duración del intervalo del parto al reinicio de la actividad ovárica en vacas lecheras (Nebel y McGilliard, 1993), también son determinantes de dicho intervalo en vacas de doble propósito. En estudios con vacas productoras de carne se ha generado un cúmulo de evidencias de que las reservas de energía corporal (o condición corporal) afectan el reinicio de la actividad lútea de las vacas de carne durante el período posparto (Dunn y Kaltenbach, 1980; Wright y col, 1987; Selk y col 1988; Spitzer y col. 1995). En el mismo sentido, las asociaciones negativas entre variables no reproductivas y el PCL

indican que a una mayor cantidad de energía en la dieta o a un mayor ahorro en la utilización de sus reservas tisulares de energía, disminuye el período entre el parto y la presentación de estructuras lúteas en las vacas de doble propósito. La estimación del balance energético combina la disponibilidad de nutrimentos para el animal con su producción de leche y ofrece una aproximación al conocimiento de los controles homeorréticos de las vacas durante el período posparto (Nebel y McGilliard, 1993). La asociación negativa entre el balance energético y el tiempo requerido para que se inicie la actividad lútea posparto observada en el presente estudio, coincide con los resultados obtenidos por Butler y col. (1981) quienes observaron que el BE durante los primeros 20 días posparto se relacionó de manera inversa con los días a la primera ovulación. Asimismo, se ha observado que la primera ovulación de vacas lecheras ocurre aproximadamente a los 14 días después de que se presenta el nadir del BE negativo (Butler y col., 1981, Canfield y Butler, 1990 y Canfield y col. 1991). En contraste, otros autores no observaron una relación del BE negativo promedio y el intervalo del parto a la primera ovulación (Villa-Godoy y col. 1988; Spicer 1990 y Zurek y col. 1997). En el presente estudio los días del nadir del BE a la presentación de actividad lútea durante el período posparto, difirieron ( $P < 0.05$ ) en función de los tratamientos que recibieron los animales y fueron de 65 d en las vacas no suplementadas, 49 d en las suplementadas, 96 días en las amamantadas y de 19 d en las no amamantadas. Es notable que al destetar permanentemente a las vacas de doble propósito, se observa un intervalo nadir-actividad lútea muy parecido al observado en vacas lecheras por Butler y col. (1981) y Canfield y col. (1991). Por lo tanto, la información generada en el presente trabajo proporciona evidencias en favor de la idea de que momento en que ocurre el nadir del BE determina, al menos en parte, el tiempo en que ocurre la primera ovulación posparto en vacas.

Se ha postulado que los efectos de la condición corporal sobre el retorno a la actividad ovárica durante el período posparto de vacas de carne, son mediados por los cambios en el comportamiento de liberación pulsátil de LH (Wright y col., 1987; Richards y col., 1989), lo cual se ha atribuido a variaciones en la sensibilidad al estradiol por parte del hipotálamo. En el caso de vacas lecheras, Canfield y Butler (1990) observaron que con relación a muestras sanguíneas colectadas antes del nadir del BE hubo un incremento en la frecuencia de pulsos de LH, así como de los valores promedio y basal de LH, acompañados de un decremento en la amplitud de pulsos de la misma hormona en muestras colectadas después del nadir. Otros autores observaron que el

balance energético afecta la función del CL en vacas y vaquillas (Villa-Godoy y col. 1988; 1990). Al menos en vaquillas, un déficit severo del BE, acompañado de una fuerte pérdida de condición corporal, alteraron la composición celular del CL y redujeron su respuesta *in vitro* a la LH (Villa-Godoy y col. 1990). Puesto que los citados autores no encontraron alteraciones en el patrón de secreción de LH durante el diestro imputables al BE negativo, hipotetizaron que quizá éste afecta la calidad o cantidad de LH secretada durante la oleada preovulatoria, lo que a su vez altera el proceso de metamorfosis de las células foliculares a luteínicas. Como consecuencia, el cuerpo lúteo de vaquillas en BE negativo difiere en tamaño, composición celular y capacidad de respuesta a la LH. Las anteriores observaciones hacen posible considerar como una alternativa, que el déficit energético y una baja condición corporal afecten localmente al folículo, mediante mecanismos aún no definidos.

La relación entre el estado metabólico y el reinicio de la actividad lútea fué evidente en este estudio, ya que se observó una asociación positiva con la concentración sérica de AGNE ( $r = 0.24$ ;  $P = 0.001$ ), registrada durante los primeros 30 días posparto. Asimismo el BE se asoció de manera negativa con AGNE ( $r = -0.35$ ;  $P = 0.001$ ). Lo anterior concuerda con resultados de Canfield y Butler (1990), quienes observaron una relación ( $r = -0.40$ ) entre la concentración plasmática de AGNE y el BE durante el período posparto temprano. Dichos autores observaron, haciendo comparaciones dentro de animal, que en 8 de 10 vacas hubo correlaciones altas entre el BE y las concentraciones de AGNE ( $r = -0.44$  a  $-0.89$ ), no ocurriendo esto con relación a insulina y otros metabolitos. Debido al esquema de muestreo de su estudio, en donde se midieron de manera frecuente la secreción de LH así como las concentraciones de insulina y de algunos metabolitos, postularon a los AGNE como señal periférica del BE con acción en el sistema nervioso central, donde supuestamente actúan inhibiendo la liberación de LH. En el presente estudio se analizaron los metabolitos, las hormonas tiroideas y la insulina en un esquema de muestreo más espaciado que el realizado por esos investigadores, sin que se encontrara asociación entre sus concentraciones con el período parto-primer CL, excepto para el caso de los AGNE, lo que apoya la propuesta del papel de estos últimos como una de las señales de BE a nivel central.

Décadas atrás se evidenció el efecto inhibitorio que ejerce el amamantamiento sobre el retorno a la actividad ovárica posparto en bovinos (Witbank y Cook 1958; Laster, Glimp y Gregory 1973). El intervalo entre el parto y el inicio de la actividad lútea varía con el número de crías

amamantadas por una vaca (Wetteman y col 1978) y la frecuencia del amamantamiento (Randel, 1981; Reeves y Gaskins 1981). La mayor duración del PCL de las vacas amamantadas, en comparación con las destetadas permanentemente del presente estudio, coincide con los resultados obtenidos en vacas de carne amamantadas ad libitum por sus crías, las cuales tuvieron un intervalo del parto a la primera ovulación más largo en comparación con vacas cuyas crías fueron destetadas permanentemente (Hoffman y col. 1996; Lamb y col. 1997). Se ha observado que el amamantamiento disminuye la concentración sérica de LH en vacas en anestro (Edwards, 1985) a través de una disminución en la frecuencia de pulsos de LH (García-Winder y col. 1984). Bishop y col. (1994) observaron que la condición corporal durante el destete temprano influyó la frecuencia de los pulsos de LH y además determinaron que los animales con una pobre condición corporal durante el destete, mostraron un intervalo al inicio de la actividad lútea más largo que las vacas con una alta condición corporal. Sin embargo, Browning y col. (1994) determinaron que vacas cebú sujetas a amamantamiento controlado, tuvieron un intervalo del parto al reinicio de la actividad ovárica más corto que vacas amamantando todo el tiempo, pero no observaron una interacción entre el manejo del amamantamiento y el nivel de nutrición proporcionado a los animales; probablemente debido a que el nivel de alimentación que emplearon, dentro de un rango estrecho y en todo caso capaz de satisfacer las necesidades nutricionales recomendadas para estos animales. Por el contrario, en el presente estudio el amplio rango de la energía suministrada a las vacas sometidas a los distintos tratamientos, permitió detectar la interacción entre la dieta y el amamantamiento sobre el inicio de la actividad lútea posparto; observación que apoya una de las hipótesis que condujeron hacia el presente estudio.

Desde el registro de las primeras imágenes ultrasonográficas que se efectuaron el día 10 posparto, se detectó la presencia de folículos ováricos con diámetro menor a 5 mm. Lo anterior confirma lo informado por Spicer y col. (1989), quienes encontraron que dichos folículos existen desde la primera semana posparto. Ambas observaciones apoyan la tesis de que el desarrollo de folículos menores a 5 mm es independiente al estímulo gonadotrópico (Lussier y col. 1994; Gong y col. 1995).

Los folículos clasificados como pequeños (5 a 7.9 mm) y medianos (8 a 9.9 mm), no fueron afectados por la suplementación energética, el amamantamiento o por su interacción ( $P > .05$ ) y en promedio se presentaron a los 12.87 días y 17.2 días respectivamente (Cuadro 16). En el presente

estudio la valoración ultrasonográfica se inició en el día 10 posparto, por lo que existe la posibilidad de que los folículos de tales categorías dependan exclusivamente del reestablecimiento de la secreción de la hormona folículo-estimulante (FSH) que se observa durante el posparto temprano. La normalización en la liberación de FSH ocurre entre los 2 y 9 días posparto en vacas productoras de leche, después de que desaparece la inhibición ejercida por el estradiol durante el periparto (Price y col. 1988, Beam y col. 1997). Posterior al reestablecimiento de la secreción de FSH, se ha observado que las concentraciones de la misma hormona en la pituitaria y a nivel periférico son similares durante las fases medias y tardías del período posparto (Nett y col. 1988), así como entre los animales que se encuentran ciclando y aquéllos que permanecen en anestro (Moss y col. 1985). Por lo tanto la concentración de esta glicoproteína no es un factor limitante para el retorno a la ciclicidad (Webb y col. 1980; Moss y col. 1985). Además, resultados de estudios previos han fallado en demostrar una relación significativa entre la restricción alimenticia y las concentraciones de FSH en borregas (Xu y col. 1989) o en vacas (Findlay y Clarke, 1987). Adicionalmente, Spicer y col. (1984) observaron que la sobrealimentación de vaquillas productoras de carne no afectó las concentraciones sanguíneas de FSH. A pesar de que en el presente trabajo no se midieron las concentraciones de FSH, la información anterior permite proponer que en vacas de doble propósito, la aparición de folículos con un diámetro mayor a 5 mm y menor a 10 mm durante el período posparto temprano, puede estar mediada por el rápido reestablecimiento de la secreción de dicha hormona, sin que influya el estado nutricional de los animales.

En contraste con lo observado en los folículos menores a 10 mm, el intervalo del parto a la aparición del primer folículo grande ( $\geq 10$  mm) fue afectado por la suplementación energética, ya que el intervalo promedio fue de 20 días en las vacas suplementadas y de 29.8 días en los animales no suplementados con energía ( $P < 0.01$ ; Cuadro 16). Las vacas sin suplementar y amamantadas tardaron 32.1 días en presentar el primer folículo grande, período más largo ( $P < 0.05$ ) que el requerido para que las vacas de las combinaciones de tratamientos restantes desarrollaran el primer folículo  $\geq 10$  mm. Los resultados del presente estudio difieren de los obtenidos por Perry y col. (1991), quienes observaron en vacas productoras de carne un efecto relativamente bajo ( $P = 0.10$ ) de la energía suplementada antes del parto y ningún efecto de la energía suministrada después del parto, sobre el intervalo a la aparición del primer folículo  $\geq 10$  mm. En el presente

estudio los animales fueron alimentados para que parieran en una condición corporal óptima (promedio =  $3.4 \pm 0.6$ ). En el análisis estadístico se incluyó a la condición corporal al parto como covariable, y de todas las variables reproductivas analizadas, el intervalo del parto a la aparición del primer folículo  $\geq 10$  mm fue la única en que dicha covariable tuvo efecto ( $P < 0.05$ ). Entonces existe la posibilidad de que, independientemente de que los animales paran en una condición corporal adecuada, la variación en la cantidad de energía almacenada en las reservas corporales al momento del parto, influyan en la aparición del primer folículo grande. No obstante lo anterior, la suplementación energética ofrecida a las vacas después del parto ejerció un significativo efecto sobre la presentación del primer folículo grande. Por lo tanto, la diferencia de nuestros resultados con los de el estudio de Perry y col. (1991) en cuanto a la influencia de la energía dietética ofrecida después del parto, puede ser atribuida al propósito zootécnico, y a que la dualidad de producción de las vacas en nuestro trabajo, aumentaron sus demandas energéticas (ordeña y amamantamiento de la cría), con relación a las vacas que exclusivamente amamantaron a sus becerros del estudio de referencia.

El promedio del número de días a la aparición de primer folículo grande en vacas de doble propósito, es parecido al informado en ganado de carne y mucho mayor al observado en vacas lecheras, en las cuales el folículo mayor a 10 mm emerge alrededor del día ocho posparto; momento en el que se establece el inicio del período de dominancia con la supresión del desarrollo de folículos pequeños en una oleada folicular (Beam and Butler 1997, Kastelic y col. 1990, Sirois y Fortune, 1990). Al analizar la correlación de variables de consumo de energía, producción láctea, condición corporal, concentraciones hormonales y de metabolitos durante los primeros 30 días posparto, con el intervalo a la aparición del primer folículo grande, se observó que las variables que tuvieron una asociación altamente significativa ( $P=0.0001$ ) y negativa en todos los casos, fueron: consumo de M.S. total ( $r = -0.31$ ), consumo de energía en el suplemento ( $r = -0.39$ ) y consumo de energía total ( $r = -0.32$ ), así como con los cambios semanales de condición corporal ( $r = -0.58$ ). Cabe mencionar, que el grupo que tardó más de 30 d en presentar el primer folículo grande (vacas con A y sin S) tuvo, con respecto a los otros grupos, la pérdida mayor ( $P < 0.05$ ) de condición corporal durante el primer trimestre del estudio (Experimento 1). Lo anterior fortalece la idea de que en vacas en sistemas de doble propósito, el desarrollo de los folículos hasta obtener un diámetro igual o superior a los 10 mm, es afectado por la disponibilidad de la

energía dietética posparto y (o) la utilización de sus reservas corporales durante los primeros 30 días posparto. El mecanismo por el cual la desnutrición afecta el desarrollo de los folículos durante el período posparto, parece involucrar la liberación episódica de LH de la hipófisis anterior, lo cual parece ser un prerrequisito para la reiniciación de la actividad ovárica cíclica (Peters y Lamming, 1986). En vacas productoras de carne la concentración basal de LH no es afectada por la alimentación preparto ni posparto (Echternkamp 1982; Nolan 1988; Killen y col. 1989); sin embargo el nivel de alimentación sí influencia la secreción pulsátil de LH tanto de vacas ovariectomizadas (Echternkamp, 1982) como intactas (Wright y col. 1992, Perry y col. 1991). Por lo tanto, el efecto de la suplementación energética sobre la velocidad de aparición del primer folículo grande observada en vacas de doble propósito del presente estudio, pudo ser mediado por la secreción pulsátil de LH.

Debido a que tres vacas presentaron su primer estro alrededor de los 40 días posparto y a que durante dicho lapso la mayoría de vacas en estudio había presentado un primer folículo grande, se revisó el efecto de los tratamientos sobre el número de oleadas foliculares en los primeros 40 días posparto. Al respecto se observó que el mayor consumo de energía aumentó ( $P=0.02$ ) la cantidad de oleadas sin haberse detectado efectos del amamantamiento ni su interacción con la dieta (Cuadro 16). En vacas lecheras se ha observado que los cambios metabólicos derivados de los controles homeorréticos y del balance energético durante los primeros 30 días PP, son determinantes en el desempeño reproductivo de las mismas durante el período posparto; sin embargo, se desconoce lo que sucede en las vacas de doble propósito. Por lo anterior, se analizó la correlación entre las diversas variables no reproductivas registradas durante los primeros 30 días posparto y el número de oleadas foliculares en los primeros 40 días y se observó una asociación positiva ( $P=0.001$ ) entre esta última y el consumo de MS total ( $r = 0.43$ ), el consumo de energía en el suplemento ( $r = 0.52$ ), la ingestión de energía total ( $r = 0.45$ ), el BE diario ( $r = 0.25$ ) y los cambios de condición corporal medida semanalmente ( $r = 0.48$ ). Las asociaciones positivas antes mencionadas indican que, a una mayor disponibilidad de energía dietética durante el período posparto temprano en las vacas de doble propósito mayores son sus reservas tisulares y por ende es mayor el superávit energético. Lo anterior se traduce en un pronto reestablecimiento de el patrón de desarrollo folicular y consecuentemente un mayor número de ondas foliculares durante el PP temprano de las vacas de doble propósito con una dieta energética

adecuada en relación con las que consumieron una dieta deficitaria en energía. En vacas lecheras, se ha propuesto la teoría de que un balance energético positivo genera un mayor movimiento de folículos de categorías pequeñas hacia categorías mayores, lo cual acelera el restablecimiento de las oleadas foliculares; siendo tal escenario el responsable de la ovulación temprana observada en las vacas que presentan un estado energético positivo durante el período posparto temprano, con relación a las vacas con un balance energético negativo (Lucy y col., 1991a). Dicha hipótesis es apoyada por los resultados obtenidos por el mismo grupo de autores, quienes observaron que vacas lecheras en BE positivo o ligeramente negativo tuvieron una mayor velocidad de crecimiento de folículos medianos y grandes, en comparación con vacas en BE altamente deficitario (Lucy y col. 1991b). Perry y col. (1991), observaron que cuando vacas productoras de carne que tuvieron acceso a bajos niveles de energía antes del parto y (o) después del mismo, en combinación con una condición corporal pobre, el crecimiento de folículos hacia categorías superiores fue reducido o inexistente. Consecuentemente, el comportamiento de las vacas de doble propósito, añade evidencias en apoyo de que el consumo satisfactorio de energía durante el período posparto temprano, permite un adecuado desarrollo de los folículos y por ende un pronto restablecimiento de las oleadas foliculares.

Puesto que en este trabajo la dieta no afectó ( $P > 0.01$ ) el diámetro máximo de los folículos  $\geq 10$  (cuadro 16), ni las variables relacionadas con la condición metabólica tuvieron una correlación significativa con dicho diámetro, nuestros resultados apoyan fuertemente aquéllos que indican que ni la dieta, ni el metabolismo influyen el tamaño final del folículo dominante (Beam and Butler, 1998; Lucy y col. 1991), y difieren de los de Murphy y col. (1991) quienes observaron que, en vacas ciclando y sin amamantar al becerro, la restricción alimenticia disminuyó el diámetro máximo del folículo dominante. Por el contrario, el amamantamiento redujo el diámetro de los folículos mayores durante los primeros 40 días posparto a 1.15 cm en las vacas, en comparación con 1.34 cm de diámetro observado en el folículo grande de las vacas que no tuvieron becerro ( $P = .02$ ; Cuadro 16) y simultáneamente las vacas amamantadas tuvieron un período de anestro prolongado ( $P < 0.05$ ) en comparación a las vacas sin becerro. En vacas amamantadas por la cría se ha observado una baja frecuencia en la secreción de pulsos de LH durante el período posparto temprano, debida al efecto supresivo del amamantamiento sobre el patrón de secreción de LH. Por lo tanto, en estos animales puede existir un insuficiente aporte gonadotrópico al ovario para el

adecuado crecimiento y maduración final de los folículos mayores a 10 mm (Roche y Boland, 1991; Williams 1990). Aunque en el presente estudio no se analizó el patrón secretorio de LH, la información anterior permite inferir que las vacas que fueron amamantadas no tenían, aún a los 40 días posparto, el suficiente aporte gonadotrópico para sostener un crecimiento adecuado del folículo dominante.

Debido a que las vacas amamantadas, tuvieron una duración del anestro posparto superior a los 190 días y con el fin de incluir a todos los animales en la determinación del efecto de los tratamientos sobre la duración de la onda folicular y de sus fases de desarrollo, dichos intervalos se analizaron durante los 60 días previos al primer estro posparto. La suplementación energética afectó la DURON, la DURCRE, la DURME y la DURTRE, ya que los valores medios registrados en las vacas suplementadas fueron mayores ( $P < 0.05$ ) que los registrados en las vacas que no recibieron suplemento energético (Cuadro 17). Se detectó una interacción ( $P < 0.01$ ) entre los dos factores aquí estudiados, que se refiere a la menor duración de DURME en las vacas del grupo NS-A, con respecto a las de las combinaciones de tratamientos restantes (Cuadro 17). La meseta de una onda folicular representa la fase durante la cual el folículo dominante se mantiene funcionando y sin crecer, en espera de la señal que determinará su destino final: maduración seguida de ovulación, o la inhibición de sus funciones lo que inicia la atresia y eventualmente la desaparición del folículo. En el grupo de vacas NS-A, la duración del anestro se prolongó hasta los 246 días, y a pesar de que la medición de sus oleadas se realizó durante los 60 días previos al estro, éste es, en un tiempo muy alejado del parto, la duración de la meseta fué de únicamente 1.12 días en comparación a los más de tres días de duración observados en los otros grupos ( $P < 0.05$ ). Cabe mencionar que las vacas NS-A permanecieron en BE negativo hasta el fin del estudio, mantuvieron durante todo el anestro los valores más bajos con relación a la condición corporal (Experimento 1), la menor concentración de la hormona  $T_3$  y menor cociente  $T_3/T_4$  (Experimento 2) y, al menos durante las primeras siete semanas posparto, las concentraciones más altas de ácidos grasos no esterificados (Experimento 2); indicadores todos ellos de un severo estado de desnutrición. Las mismas vacas fueron sometidas a un intenso amamantamiento (7h/d), por lo que la insuficiente energía en la dieta y el amamantamiento interactuaron para reducir las posibilidades de una adecuada maduración final del folículo de mayor tamaño, aún durante un tiempo muy alejado al parto.

Los resultados de este trabajo indican que la dieta insuficiente en energía y el amamantamiento interactúan ejerciendo sus efectos en distintos estadios del desarrollo folicular. La deficiencia energética acorta la fase de desarrollo y de meseta, lo que reduce el tiempo en que un folículo permanece funcional. Por su parte, el amamantamiento limita el crecimiento del folículo dominante y su maduración. En conjunto, ambos factores impiden la ovulación al acelerar la involución y la atresia del folículo dominante, aún en etapas muy tardías del periodo PP (intervalos superiores a los 200 días en las vacas NS-A).

### CONCLUSIONES

Como se esperaba, en este trabajo se confirmó que al igual que en las vacas productoras de carne, la suplementación energética y el retiro permanente del becerro acortan la duración de los periodos de anovulación y anestro posparto en vacas de doble propósito. Un punto sobresaliente derivado de nuestra investigación, fué que en las vacas sin suplementación y con amamantamiento del becerro, la duración de los periodos de anestro y anovulación fueron aproximadamente cuatro veces más largos que en las vacas que recibieron suplemento y que no amamantaron a sus crías. Puesto que dicho resultado es igual a la suma de los efectos que la deficiencia energética y el amamantamiento provoca de manera individual, nuestra primera conclusión es que los dos factores aquí probados interactúan en forma aditiva en vacas de doble propósito, con respecto a la duración de los intervalos a la primera ovulación y al primer estro posparto.

Con relación a las funciones foliculares, se determinó que la suplementación energética redujo el intervalo del parto a la presentación de folículos  $\geq 10$  mm de diámetro, incrementó el número de oleadas foliculares durante los primeros 40 días posparto, y prolongó la duración de dichas ondas, particularmente en las fases de desarrollo y dominancia del folículo mayor; por el contrario la ausencia de amamantamiento permitió a los folículos dominantes alcanzar un diámetro mayor con relación al de las vacas con becerro al pie. Consecuentemente, la segunda conclusión es que el déficit energético y el amamantamiento actúan en diferentes fases del desarrollo folicular, ya que mientras la primera condición retrasa el desarrollo del folículo en su primera fase y reduce el tiempo de dominancia, la segunda condición limita la maduración folicular y su ovulación, interactuando así para prolongar los intervalos de anovulación y anestro posparto.

En lo que respecta a la asociación de los metabolitos y hormonas examinadas, se encontró que los AGNE, las hormonas tiroideas y el cociente de éstas tuvieron los coeficientes de correlación más altos y se asociaron con el mayor número de variables reproductivas. Por ello, otra conclusión es que las hormonas tiroideas y los AGNE actúan como mediadores putativos entre los efectos atribuibles a los cambios en el balance energético, el amamantamiento y (o) sus interacciones sobre la reproducción en vacas de doble propósito.

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 15. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre los intervalos (días) del parto al primer cuerpo lúteo<sup>1</sup> (PCL) y al primer estro posparto (PESTRO) en vacas de doble propósito.

<u>CONCEPTO ANALIZADO</u>	<u>PESTRO</u>	<u>PCL</u>
<u>Factores principales*</u>		
SIN S	164.8a <sup>2</sup> (19) <sup>3</sup>	112.8a
S	101.8b (19)	61.8b
A	190.9a (20)	122.2a
SIN A	75.8b (9)	52.5b
<u>Interacciones</u>		
SIN S- A	246.5a (10)	166.9a
SIN S-SIN A	83.2b (9)	58.7b
S-A	135.2c (10)	77.4b
S-SIN A	68.4b (9)	46.27b
E.E. <sup>4</sup>	10.1	14
<u>Modelo (P&gt;F)</u>		
S	.01	.01
A	.01	.02
S*A	.02	.06
Cov. CCP <sup>5</sup>	.13	.32
R <sup>2</sup>	.77	.45

<sup>1</sup> Primer cuerpo lúteo (progesterona más ultrasonido) precedido o no de estro.

<sup>2</sup> a, b. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>3</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones

<sup>4</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>5</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética);

A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 16. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre los intervalos del parto a el primer folículo pequeño (5 a 7.9 mm; IP1FP), el primer folículo mediano (8 a 9.9 mm; IP1FM), el primer folículo grande ( $\geq 10$  mm; IP1FG) y sobre el diámetro del folículo más grande (DFG) y el número de oleadas foliculares (NOF) durante los primeros 40 d posparto en vacas de doble propósito.

CONCEPTO ANALIZADO	IP1FP, d	IP1FM, d	IP1FG, d	NOF	DFG, cm
<b>Factores principales*</b>					
SIN S	13.2 (19) <sup>1</sup>	17.9	29.8a <sup>2</sup>	1.00a	1.35
S	12.6 (19)	16.6	20.2b	1.93b	1.23
A	12.7 (20)	17.6	25.8	1.51	1.15a
SIN A	13.0 (18)	16.9	24.1	1.42	1.34b
E.E. <sup>3</sup>	1	1.9	2.7	.20	.06
<b>Modelo (P&gt;F)</b>					
S	.68	.61	.01	.02	.52
A	.83	.81	.67	.77	.02
S*A	.52	.56	.46	.53	.61
Cov. CCP <sup>4</sup>	.87	.82	.05	.08	.09
R <sup>2</sup>	.20	.15	.47	.50	.77

<sup>1</sup>Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>2</sup>a, b. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>3</sup>E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup>Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética);

A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

Cuadro 17. Efectos de la suplementación energética y el amamantamiento sobre la duración (días) de la onda folicular (DURON) y de sus fases: crecimiento (DURCRE), meseta (DURME) y atresia (DURATRE) durante los 60 d previos al estro en vacas de doble propósito.

CONCEPTO ANALIZADO	<u>DURON</u>	<u>DURCRE</u>	<u>DURME</u>	<u>DURATRE</u>
<b>Factores principales</b>				
SIN S	12.8a <sup>1</sup> (19) <sup>2</sup>	7.5a	2.5a	5.1a
S	15.8b (19)	9.4b	4.3b	6.8b
A	15.3 (20)	8.8	2.9	6.3
SIN A	13.9 (18)	8.0	3.9	5.5
<b>Combinación de Tratamientos</b>				
SIN S- A	13.4 (10)	8.2	1.1a	5.7
SIN S-SIN A	12.2 (9)	6.8	3.8b	4.4
S-A	17.1 (10)	9.4	4.7b	6.9
S-SIN A	14.4 (9)	9.3	3.9b	6.6
E.E. <sup>3</sup>	1.7	.7	.69	1.7
<b>Modelo (P&gt;F)</b>				
S	.05	.01	.01	.03
A	.18	.28	.13	.42
S*A	.47	.27	.01	.49
Cov. CCP <sup>4</sup>	.72	.15	.07	.75
R <sup>2</sup>	.64	.47	.50	.42

<sup>1</sup> a, b. En cada columna, medias con distinta literal son diferentes (P< 0.05).

<sup>2</sup> Entre paréntesis se indica el número de observaciones.

<sup>3</sup> E.E. Error Estándar.

<sup>4</sup> Cov. CCP. Covarianza de la condición corporal al parto.

\*S=(Pasto ad libitum más suplementación energética); NS=( Pasto ad libitum sin suplementación energética);

A=(amamantamiento de la cría); NA (destete del becerro el día del parto).

## LITERATURA CITADA

- Aceves C., F. G. Legarreta., y C. Valverde R. 1982. Importancia del radioinmunoanálisis homólogo de tiroxina en el suero de bovinos y caprinos. *Veterinaria México*. 13:207.
- Aceves C., J. A. Ruiz, C. Romero, and C. Valverde C. 1985 Homeorhesis during early lactation. Euthyroid sick-like syndrome in lactating cows. *Acta Endocrinologica*. 110:505.
- Acosta B., G. K. Tsmavsky, T. E. Platt, D. L. Hamernik, J. L. Brown, L. M. Schoenemann, and J.J. Reeves. 1983. Nursing enhancement negative effect of estrogen on LH release in the cows. *J. Anim. Sci*. 68:831.
- Adashi E. Y., C. E. Resnick, M. E. Svobova, and J. J. Van Wyk. 1985. Somatomedin C enhances induction of luteinizing hormone receptors by follicle-stimulating hormone in cultured rat granulosa cells. *Endocrinology* 116:2369.
- Advis J. P., S. Smith, S. White, and S. R. Ojeda. 1981. Activation of growth hormone short-loop negative feedback delays puberty in the female rat. *Endocrinology* 108:1343.
- Akers, R. M. 1985. Lactogenic hormones: binding sites, mammary growth, secretory cell differentiation, and milk biosynthesis in ruminants. *J. Dairy Sci* 68:501.
- Akers R. M., and A. M. Lefcourt. 1984. Effects of presence calf on milking induced release of prolactin and oxytocin during early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci* 67:115.
- Amaral-Phillips D. M., A. D. Mc Gilliard, G. L. Lindberg, J. J. Veehuizen, and J. W. Young. 1993. Effects of decreased availability of glucose for dairy cows. *J. Dairy Sci*. 76:752.
- Amsterdam A. J., V. May, and Schomberg. 1988. Sinergistic effect of insulin and follicle stimulating hormone on biochemical and morphological differentiation of porcine granulosa cells in vitro. *Biol. Repr.* 39:379.
- Arreguín A. A., A. Villa-Godoy. 1993. Tecnología disponible y principales líneas de investigación para resolver el anestro posparto en vacas de doble propósito. XVI Simposium de Ganadería Tropical. 4º Ciclo de Conferencias sobre Bovinos dde Doble Propósito. pp 55-84.
- Arreguín A. A., A. Villa-Godoy, M. Montañó-Bermúdez, E. Villagómez A. M., H. Román-Ponce, y M. Cárdenas L. 1995. Interacción de la naloxona con la progesterona y el estradiol durante el anestro posparto en las vacas. *Tec. Pec. Mex*. 33:2 p 53.
- Bauman D. E., and W. B. Currie. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci*. 63:1514.

- Beam, S. W., and W. R. Butler. 1997. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biol. Reprod.* 56:133.
- Bell, F. R. 1971. Hypothalamic control of food intake. *Proc. Nutr. Soc.* 30:103.
- Bhattacharya S, Banerjee J, Jamaludan M, Banerjee P P, Maitra O (1989). Thyroid hormone binds to human corpus luteum. *Experientia (Basel)* 44 (11-12):1005.
- Bishop D. K., R. P. Wettemann, and L. J. Spicer. 1994. Body energy reserves influence the onset of luteal activity after early weaning of beef cows. *J. Anim. Sci.* 72:2703.
- Blaxter K. L. 1989. Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press. pp 38-63.
- Blaxter K. L., and K. Boyne. 1978. The estimation of the nutritive value of feed as energy sources for ruminants and the derivation of feeding systems. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 90:47.
- Blaxter, K. L., E. P. Reineke, E. W. Crampton, and W. E. Petersen. 1949. The role of thyroidal materials and of synthetic goitrogens in animal production and an appraisal of their practical use. *J. Anim. Sci.* 8:307.
- Bleech H. L., and M. J. Moore. 1982. Feedback regulation of thyrotropin secretion by thyroid hormones. *New Engl. J. Med.* 306:23.
- Braden T. D., and P. M. Conn. 1991. Gonadotropin-releasing hormone and its actions. *Can. J. of Physiol. and Pharma.* 69 445.
- Brant M. H. 1993. Predicting the effects of supplementation of forage diets on forage intake and total diet metabolizable energy concentration. M. Sc. Thesis. Univ. Of Florida. Gainesville, Fl.
- Broderick, G. A., and M. K. Clayton 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentration of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80:2964.
- Browning Jr R., B. S. Roberts, A. W. Lewis, D. A. Neuendorff and R. D. Randel. 1994. Effects of postpartum nutrition and once-daily suckling on reproductive efficiency and preweaning calf performance in fall-calving Brahman (*Bos indicus*) cows. *J. Anim. Sci.* 72:984.
- Burgwald-Balsatd L. A., J. S. Caton, V. I. Burke, and K. C. Olson. 1995. Influence of forage level and naloxone injection on feed intake, digestion, and plasma hormone and metabolite concentrations in dairy heifers. *J. Anim. Sci.* 73:2677.

- Butler W. R., and R. W. Canfield. 1989. Interrelationships between energy balance, reproduction of lactating dairy cows examined. *Feedstuff* 52:18 (citado por Wiley y col (1991): en *J. Anim Sci.* 69:4279.
- Butler W. R., R. W. Everett, and C. E. Coppock. 1981. The relationship between energy balance, milk production and ovulation in postpartum dairy cows. *J. Animal Sci.* 53(3):742.
- Butler W. R., L. S. Katz, J. Arriola, R. A. Milvae, and R. H. Foote. 1983. On the negative feedback regulation of gonadotropins in castrate and intact cattle with comparison of two radioimmunoassays. *J. Anim. Sci.* 56:919.
- Butler W. R., and R. Smith. 1989. The relations between energy balance, milk production, and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 50:919.
- Canfield, R. W., and W. R. Butler. 1990. Energy balance and pulsatile LH secretion in early postpartum dairy cattle. *Domest. Anim Endocrinol.* 7 (3): 323.
- Canfield, R. W., and W. R. Butler. 1991. Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *J. Anim. Sci.* 69:740.
- Canfield R. W., Sniffen C. J., and W. R. Butler. 1990. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73:242.
- Canudas, G. E. 1995. El uso del pastoreo racional intensivo y su productividad. En: XX Simposium de Ganadería Tropical. Mem. Téc. No. 2 CIRGOC-INIFAP-SAGAR, Veracruz, México: p. 108.
- Carrol, D. J., B. A. Barton, G. W. Anderson, and R. D. Smith. 1988. Influence of protein intake and feeding strategy on reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:3470.
- Carruthers T. D., and H. D. Hafs. 1980. Suckling and four-times daily milking: Influence on ovulation, estrus, and serum luteinizing hormone, glucocorticoids, and prolactin in postpartum Holsteins. *J. Anim. Sci.* 50:919.
- Carstairs J. A., D. A. Morrow, and R. S. Emery. 1980. Postpartum reproductive function of dairy cows as influenced by energy and phosphorus status. *J. Anim. Sci.* 51:1122.
- Clanton D. C., and D. R. Zimmerman 1970. Symposium on pasture methods for maximum production in beef cattle. *J. Animal Sci.* 30:122.
- Cleverley J. D., and S. J. Folley. 1970. The blood levels of oxytocin during machine milking in cows with some observations on its half-life in the circulation. *J. Endocrinol.* 46:347-361.

- Cole N. A., and D. P. Hutcheson. 1985. Influence of realimentation diet on recovery of rumen activity and feed intake in beef steers. *J. Anim. Sci* 61:692.
- Cole N. A., and D. P. Hutcheson. 1988. Influence of protein concentration in prefat or postfat diets on feed intake of steers and nitrogen and phosphorus metabolism of lambs. *J. Anim. Sci.* 66:1764.
- Cole N. A., D. M. Hallford, and R. Gallavan R. 1993. Influence of a glucose load in fed or unfed lambs on blood metabolites and hormone patterns. *J. Anim. Sci.* 71:765.
- Cole N. A., and D. M. Hallford. 1994. Influence of a propionate load in fed or unfed lambs on blood metabolites and hormone patterns. *J. Anim. Sci.* 72:2141.
- Collier R. J., J. P. McNamara, C. R. Wallace, and M. H. Dehoff. 1984. A review of endocrine regulation of metabolism during lactation. *J. Anim. Sci.* 59:498.
- Collier R. J. 1985. Nutritional, Metabolic and Environmental aspects of lactation. In: *Lactation*. 1<sup>st</sup> edition. Ed Bruce L. Larson. Iowa State University, U. S. A.
- Convey E. M. 1974. Serum hormone concentrations in ruminants during mammary growth, lactogenesis, and lactation: A review. *J. Dairy Sci.* 57:905.
- Coppock C. E. 1985. Energy nutrition and metabolism of the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 68:3403.
- Coppock C. E., H. F. Tyrrel, W. G. Merrill, and J. T. Reid. 1968. The significance of protein reserves to the lactating cow. p. 86 in *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*
- Córdova S. L., H. Peláez, J. J. Hernández L, y E. González P. 1982. Efecto del destete temporal al inicio del empadre sobre la eficiencia reproductiva de vacas cebú durante la época de sequía. VII Cong. Nac. de Buiatría. p.228.
- Crowe A. M., D. Goulding, A. Baguisi, P. M. Boland, and J. F. Roche. 1993. Induced ovulation of the first postpartum dominant follicle in beef suckler cows using a GnRH analogue. *J. Reprod. and Fert.* 99:551.
- Davis C. L. 1979. The use of buffers in the ration of lactating dairy cows. Pp 51-64 in: *Regulation of Acid Base Balance*, W. H. Hale and P. Meinhardt, eds. Piscataway, N. J. Church Dwight.
- de Jong A. 1986. The role of metabolites and hormones as feedbacks in the control of food intake in ruminants. P. 459-478. En Milligan, L. P., Grovum W. L., and A. Dobson (ed). *Control of*

digestion and metabolism in ruminants. Proc. Sixth Int. Symp. on Ruminant Physiology, Banff, Canada. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Ducker M. J., R. A. Haggett, W. J. Fisher, S. V. Morant, and G. A. Bloomfield 1985a. The effect of level of feeding in late pregnancy and around the time of insemination on the reproductive performance of first lactation dairy heifers. *Anim. Prod.* 41:1.

Ducker M. J., S. V. Morant, W. J. Fisher, and R. A. Hagget. 1985b. Nutrition and reproductive performance of dairy cattle. 2. Prediction of reproductive performance in first lactation dairy heifers subjected to controlled nutritional regimes. *Anim. Prod.* 41:13

Dunn T. G., and C. C. Kaltenbach. 1980. Nutrition and the postpartum interval of the ewe, sow and cow. *J. Anim. Sci.* 51 (Suppl. 2):29.

Echternkamp S. E., C. L. Ferrel, and J. D. Rone. 1982. Influence of pre- and post-partum nutrition on LH secretion in suckled postpartum beef heifers. *Theriogenology* 18:283.

Edwards S. 1985. The effects of short term calf removal on pulsatile LH secretion in the postpartum beef cow. *Theriogenology* 23:777.

Elsasser T. H., T. S. Rumsey, and A. C. Hammond. 1989. Influence of diet on basal and growth hormone-stimulated plasma concentrations of IGF-1 in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 67:128

Elsasser T. H., T. S. Rumsey, and S. A. Norton. 1992. Relationship between the thyroid and somatotropic axes in steers. I: Effect of propylthiouracil-induced hypothyroidism on growth hormone, thyroid stimulating hormone and insuline-like growth factor I. *Domest. Anim. Endocrinol.* 9:261-271.

Escobar F. J., L. C. Jara, C. S. Galina y S. Fernández-Baca. 1984. Efecto del amamantamiento sobre la actividad reproductiva posparto en vacas cebú, criollas y F1 (cebú x holstein) en el trópico húmedo de México. *Vet. Mex.* 15:243.

Ferguson J. D., D. T. Blanchard, S. Sholtzberger, and W. Chalupa. 1986. Effect of protein degradability on reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69 (Suppl. 1):121 Abstr.

Findlay J. K., and I. J. Clarke. 1987. Regulation of the secretion of FSH in domestic ruminants. *J. Reprod. Fertility Suppl.* 34:27-37.

Gabriel S. A., L. A. Berglund, and R. T. Simpkins. 1986. A decline in endogenous opioid influence during the esteroid-induced hyposecretion of luteinizing hormone in the rat. *Endocrinol.* 118:558.

- Gallo G. F., and E. Block. 1991. Effects of recombinant bovine somatotropin on hypophyseal and ovarian functions of lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 73:3276.
- García-Winder M., M. L. Imakawa, M. L. Day, D. D. Zalesky, R. J. Kittok, and J. E. Kinder. 1984. Effect of suckling and ovariectomy on the control of the luteinizing hormone secretion during the postpartum period in beef cows. *Biol. Reprod.* 31:771.
- Gardner D. F., M. M. Kaplan, and C. A. Stanley. 1979. Effect of triiodothyronine replacement on the metabolic and pituitary response to starvation. *New Engl. J. Med.*, 300:579
- Garmendia J. C. 1986. Secretion of luteinizing hormone in postpartum cows infused with glucose. Ph. D. Dissertation. Oklahoma State Univ. Stillwater, Oklahoma.
- Goetsch A. L., Z. B. Johnson, D. L. Galloway Sr., L. A. Forster Jr., A. C. Brake, W. Sun, K. M. Landis, M. L. Lagasse, K. L. Hall, and A. L. Jones. 1991. Relationships of body weight, forage composition, and corn supplementation to feed intake and digestion by Holstein steer calves consuming Bermudagrass hay *ad libitum*. *J. Anim. Sci.* 69:2634.
- Gong J. G., B. K. Campbell, T. A. Bramley, A. R. Peters, and R. Webb 1995. Evolution of the requirement for FSH and LH during ovarian follicle growth and development in cattle. *J. Reprod. Fertility.* 15:7 (Abstract).
- Goodman G. T., H. A. Tucker, and E. M. Convey. 1979. Presence of the calf affects secretion of prolactin in cows. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 169:421.
- González P. E. 1993. Situación actual y perspectivas de la producción de leche en la ganadería de doble propósito en las regiones tropicales. XVI Simposium de Ganadería Tropical. 4° Ciclo de Conferencias sobre bovinos de Doble Propósito. pp 1-14.
- Grosvenor C. E., L. Krulich, and S. M. McCann. 1968. Depletion of pituitary concentration of growth hormone as a result of suckling in the lactating rat. *Endocrinology*, 82:617.
- Grosvenor C. E., G. T. Goodman, and F. Mena. 1984. Control of the multiphase secretion in the lactating rat. In: *Prolactin secretion: A Multidisciplinary Approach*, ed. by F. Mena and C. M. Valverde -R., pp 275-284. Academic Press, Orlando, Fla.
- Harrison L. M., and R. D. Randel. 1986. Influence of insuline and energy intake on ovulation rate, luteinizing hormone and progesterone in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 63:1228.
- Hart I. C. 1974. Concentrations of prolactin in serial blood samples from goats before, during and after milking throughout lactation. *Endocrinology.* 64:305.

- Hart I. C., J. A. Bines, S. V. Morant, and S. V. Morant. 1979. Endocrine control of energy metabolism in the cow: correlations of hormones and metabolites in high and low yielding cattle for stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 62:270.
- Hart I. C., J. A. Bines, S. V. Morant, and J. L. Ridley. 1978. Endocrine control of energy metabolism in the cow: comparison of the levels of hormones (prolactin, growth hormone, insuline and thiroxine) and metabolites in the plasma of high and low yielding cattle at various stages of lactation. *Endocrinology* 77: 333.
- Hoffman D. P., J. S. Stevenson, and J. E. Minton. 1996. Restricting calf presence without suckling compared with weaning prolongs postpartum anovulation in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 74:190.
- Hart I. C., J. A. Bines, S. V. Morant, and J. L. Ridley. 1978. Endocrine control of energy metabolism in the cow: comparison of the levels of hormones (prolactin, growth hormone, insuline and thiroxine) and metabolites in the plasma of high and low yielding cattle at various stages of lactation. *Endocrinology* 77:333.
- Hernández L. J. J., H. Román-Ponce, F. J. Padilla R., E. Koppel R., J. Pérez S., H. Castillo R. 1984. Comportamiento reproductivo del ganado lechero en clima tropical. 5. Efecto de raza, producción láctea y peso corporal sobre los niveles de triyodotironina en dos estaciones del año. *Téc. Pec Méx*, 47:78.
- Hernández E. R., C. E. Resnick, W. D. Hotzclaw, D. W. Payne, and E. Y. Adashi. 1988. Insuline as a regulator of androgen biosynthesis by cultured rat ovarian cells:cellular mechanism(s) underlying physiological and pharmacological hormonal actions. *Endocrinology* 122:2034.
- Hovell V., F. D. Deb, E. R. Orskov, N. A. McLeod, and I. McDonald. 1983. The effect of change in the amount of energy infused as volatile fatty acids on the nitrogen retention and creatinine excretion of lambs wholly nourished by intragastric infusion. *Br. J. Nutr.* 50:331.
- Inoe A., N. Yamamoto, Y. Morisawa, T. Uchomoto, M. Yukioka, S. Morisawa. 1989. Unesterified long-chain fatty acids inhibit thyroid hormone binding to the nuclear receptor: Solubilized receptor and the receptor in the cultured cells. *Europ. J. of Biochem.* 183 (3):565.
- Johnson H. D. 1980. Enviromental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *Int. J. Biometeor.* 24 (Suppl ): 65.

- Kastelic J. P., J. C. H. Ko, and O. J. Ginther. 1990. Suppression of dominant and subordinate ovarian follicles by a proteinaceous fraction of follicular fluid in heifers. *Theriogenology* 34:499.
- Knight C. H. 1994. Short-term oxytocin treatment increases bovine milk yield by enhancing milk removal without any direct action on mammary metabolism. *J. Endocrinol.* 142:471.
- Koprowski J. A. and H. A. Tucker. 1973. Bovine serum growth hormone, corticoids and insulin during lactation. *Endocrinology*, 93:645.
- Kunz P. L., J. W. Blum, I. C. Hart, H. Bickel, and J. Landis. 1985. Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40:219.
- Killen J. H., D. W. Forrest, F. M. Byers, G. T. Schelling, and C. R. Long. 1989. Gonadotropin-releasing hormone-induced luteinizing release in heifers: Effect of nutrition during gestation. *J. Anim. Sci.* 67:496.
- Laflamme L. F. and M. L. Connor. 1992. Effect of postpartum nutrition and cow body condition at parturition on subsequent performance of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 72:843.
- Lamb G. C., J. M. Lynch, D. M. Grieger, J. E. Minton, and J. S. Stevenson. 1997. Ad libitum suckling by an unrelated calf in the presence or absence of cow's own calf prolong postpartum anovulation. *J. Anim. Sci.* 75:2762.
- Lamb G. C., B. L. Miller, J. M. Lynch, K. E. Thompson, J. S. Heldt, C. A. Löest, D. M. Grieger, and J. S. Stevenson. 1999. Twice daily suckling but not milking with calf presence prolongs postpartum anovulation. *J. Anim. Sci.* 77:2207.
- Laurenz J. C., F. M. Byers, G. T. Schelling, and L. W. Greene. 1992. Periodic changes in body composition and priorities for tissue storage and retrieval in mature beef cows. *J. Anim. Sci.* 70:1950.
- Lefcourt A. M., J. B. Huntington, R. M. Akers, D. L. Wood, J. and Bitman. 1999. Circadian and ultradian rhythms of body temperature and peripheral concentrations of insulin and nitrogen in lactating dairy cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 16(1):41.
- Littell R. C., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 76:1216.
- Loeb J. N. 1996. Metabolic changes in hypothyroidism. In: L. E. Braverman and R. D. Utiger (ed) *The Thyroid* (7<sup>th</sup> ed.) pp 858-863 Lippincott-Raven, Philadelphia, PA.

- Laster D. B., H. A. Glimp, and K. E. Gregory. 1973. Effects of early weaning on post-partum reproduction in cows. *J. Anim. Sci.* 36:734.
- Littell R. C., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 76:1216.
- Lucy M. C., C. R. Staples, F. M. Michel, and W. W. Thatcher. 1991a. Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum beef cows. *J. Dairy Sci.* 74:473.
- Lucy M. C., C. R. Staples, F. M. Michel, and W. W. Thatcher. 1991b. Effect of feeding calcium soaps to early postpartum dairy cows on plasma prostaglandin F<sub>2α</sub>, luteinizing hormone, and follicular growth. *J. Dairy Sci.* 74:483.
- Lussier J. G., P. Matton, L. A. Guilbault, F. Grasson, R. J. Mappletoft, and T. D. Carruthers. 1994. Ovarian follicular development and endocrine response in follicular- fluid-treated and hemiovariectomized heifers, *J. Reprod. Fertility.* 102:95.
- Malven P. V., D. R. B. Bossut, and M. A. Diekmann. 1984. Effects of naloxone and electroacupuncture on plasma concentrations of LH in sheep. *J. Endocrinol.* 107:341.
- Marston T. T., and K. S. Lusby. 1995. Effects of energy or protein supplements and stage of production on intake and digestibility of hay by beef cows. *J. Anim. Sci.* 73:651.
- McAtee J. W., and A. Trenkle. 1971. Metabolic regulation of plasma insulin levels in cattle. *J. Anim. Sci.* 33:348.
- McCann J. P., and T. J. Reimers. 1985. Insulin response to glucose in estrous and diestrous obese and lean heifers. *J. Anim. Sci.* 61:619.
- McDowell R. E., G. E. Moss, J. R. Parfet, C. A. Marvin, and R. D. Alrich. 1972. Improvement of livestock production in warm climates. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- McLean J. A., and G. Tobin. 1987. Animal and human calorimetry. Cambridge: Cambridge University Press.
- McShane M. T., L. S. Petersen, S. McCrone, and D. H. Keisler. 1993. Influence of food restriction on Neuropeptide Y, Proopiomelanocortin, and Luteinizing Hormone-Releasing Hormone gene expression in sheep hypothalamus. *Biol. Reprod.* 40:831.
- Mena F., A. Enjalbert, L. Carbonell, M. Priam and C. Kordon. 1976. Effect of suckling on plasma prolactin and hypothalamic monoamine levels in the rat. *Endocrinology*, 88:355.

- Mertens D. R. 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: From theory to application using neutral detergent fiber. pp 1-18. En Proc. Georgia. Nutr. Conf., Univ. of Georgia, Athens.
- Mertens D. R. 1994. Regulation of forage intake. p. 450-493 In: Fahey G C Jr, Collins M, Mertens D R and L E Moser (ed). Forage Quality, Evaluation and Utilization. Based on the National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization held at the University of Nebraska, Lincoln, on 13-15 april 1994. American Soc of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Minson D. J. 1982. Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. Nutr. Abstr. Rev. Rev. Ser. B. 52:591.
- Moore J. E., and G. O. Mott. 1974. Recovery of residual organic matter from in vitro digestion of forages. J. Dairy Sci. 57:1258.
- Moss G. E., J. R. Parfer, C. A. Marvin, R. D. Allrich, and M. A. Dieckman. 1985. Pituitary concentrations of gonadotropins and receptors for GnRH in suckled beef cows at various intervals after calving. J. Anim. Sci. 60:281.
- Murphy M. G., W. J. Enright, M. A. Crowe, K. McConnel, L. J. Spicer, M. P. Boland and J. F. Roche. 1991. Effect of dietary intake on pattern of growth of dominant follicles during the oestrus cycle in beef heifers. J. Reprod. Fert. 92:333.
- National Research Council. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th rev. ed. Natl. Research Council, Natl Acad. Press. Washington, DC.
- Nebel R. L., and M. L. McGilliard. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. J, Anim. Sci. 76:3257.
- Nett T. M., D. Cermak, T. Braden, J. Manns, and G. Niswender. 1988. Pituitary receptors for GnRH and estradiol, and pituitary content of gonadotropins in beef cows. II. Changes during postpartum period. Domest. Anim. Endocrinol. 5:81.
- Nicholson C. F., R. W. Blake, C. L. Urbina, D. R. Lee, D. G. Fox, y P. J. Van Soest. 1993. Comparación económica de estrategias de manejo nutricional para sistemas de ganado de doble propósito en Venezuela. XVI Simposium de Ganadería Tropical. INIFAP-SARH, Veracruz p. 15.

- Nolan C. J., R. G. Bull, R. G. Sasser, P. M. Ruder, P. M. Panlasigui, H. M. Shoeneman, and J. J. Reeves. 1988. Postpartum reproduction in protein restricted beef cows: Effect on the hypothalamic-pituitary-ovarian axis. *J. Anim. Sci.* 66:3208.
- Oldham J. D. 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67:1090.
- Oldham J. D., G. E. Lobley, B. A. König, D. S. Parker, and R. W. Smith. 1980. Amino acid metabolism in lactating dairy cows early in lactation. p 458 in: *Proc 3<sup>rd</sup> EAAP Symp. Protein Metab. And Nutr.* H. J. Oslage and K. Rohr, ed EAAP Publ. No. 27.
- Ortega S. J. A. 1990. Manejo y utilización de forrajes para la producción de carne. X Simposium de ganadería tropical. INIFAP-SARH, Veracruz. p 17.
- Osoro K., and I. A. Wright. 1992. The effect of body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring calving beef cows. *J. Anim. Sci.* 70: 1661.
- Owen O. E., G. A. Richard, and M. S. Patel. 1979. Energy metabolism in feasting and fasting. *Adv. Expt. Med. Biol.* 111:119.
- Pedron O., F. Cheli, E. Senatore, D. Baroli, and R. Rizzi. 1993. Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameters, and milk fatty acid composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:2528.
- Pérez H., and Fernández O. 1988. Thyroid hormone levels in heat tolerant and non tolerant Holstein Friesian heifers. *Rev. Salud Anim.* 10 (2):121.
- Perry R. C., L. R. Corah, R. C. Cochran, W. E. Beal, J. S. Stevenson, J. E. Minton, D. D. Simms, and J. R. Brethour. 1991. Influence of dietary energy on follicular development, serum gonadotropins, and first postpartum ovulation in suckled beef cows. *J. Anim. Sci.* 69:3762.
- Piña C. B., H. Román-Ponce, y J. J. Hernández L. 1986. Efecto de la lactancia restringida más destete temporal sobre el comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito en trópico húmedo. *Tec. Pec. Méx.* 50:64.
- Poppi P. D., and R. S. Mc Lennan. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *J. Anim. Sci.* 73:278.
- Porte D., and S. C. Woods. 1981. Regulation of food intake and body weight by insulin. *Diabetologia* 20:274.

- Price C. A., and R. Webb. 1988. Steroid control of gonadotropin secretion and ovarian function in heifers. *Endocrinology* 122:2222.
- Rakestraw J., K. S. Lusby, R. P. Wetteman and J. J. Wagner. 1986. Postpartum weight and body condition loss and performance of fall calving cows. *Theriogenology* 25:461.
- Ramsey B. L., and U. Westphal. 1978. The effect of fatty acids on progesterone binding to human serum albumin. *Bioch. Biophys. Acta* 529:115.
- Randel R. D. 1981. Effect of once-day suckling on postpartum interval and cow-calf performance of first-calf Brahman X Hereford heifers. *J. Anim. Sci.* 53:755.
- Randel R. D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.* 68:853.
- Randel R. D., and R. C. Rhodes. 1980. The effect of dietary monensin on the luteinizing hormone response of prepuberal heifers given a multiple gonadotropin-releasing hormone challenge. *J. Anim. Sci.* 51 (4):925.
- Rasby R. J., R. P. Wettemann, R. D. Geisert, J. J. Wagner, and K. S. Lusby. 1991. Influence of nutrition and body condition on pituitary, ovarian, and thyroid function of nonlactating beef cows. *J. Anim. Sci.* 69:2073.
- Reardon T. F., R. A. S. Welch, D. E. Wrigth, and M. W. Brinsmead. 1978. Precalving nutrition on beef cows. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 32:202.
- Reeves J. J., and C. T. Gaskins. 1981. Effect of once-a-day nursing on rebreeding efficiency of beef cows. *J. Anim. Sci.* 53:889.
- Reimers T. J., R. G. Cowan, J. P. Mc Cann, and M. W. Ross. 1982. Validation of a rapid solid-phase radioimmunoassay for canine, bovine and equine insulin. *Am. J. Vet. Res.* 43 (7):1274.
- Richards L. M., J. C. Spitzer and M. B. Warner. 1986. Effects of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 62:300.
- Richards M. W., R. P. Wettemann, and H. M. Schoenemann. 1989. Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum and ovarian activity. *J. Anim. Sci.* 667:1520.
- Roche J. F. and M. P. Boland. 1991. Turnover of dominant follicles in cattle of different reproductive states. *Theriogenology* 35:81.

- Rodríguez R. A., R. O. Rodríguez L., D. Ruiz R. y E. González P. 1982a. Efecto del destete temporal y la lactancia controlada sobre el comportamiento reproductivo de vacas empadradas en agostadero. *Tec. Pec. Méx.* 42:41.
- Rodríguez R. O., R. Rodríguez A., E. González P. y D. Ruiz R. 1982b. Comportamiento reproductivo de vacas productoras de carne sometidas a diversos tipos de amamantamiento. *Tec. Pec. Méx.* 43:63.
- Román-Ponce H. 1987. VI Simposium sobre ganadería tropical. INIFAP-SARH. Veracruz, México. pp. 7-22.
- Ronge H., J. Blum, C. Clement, F. Jans, H. Leuenberger, and H. Binder. 1988. Somatomedin C in dairy cows related to energy and protein supply and to milk production. *Anim. Prod.* 47:165.
- Rosete F. J. V., A. Villa-Godoy, E. Villagómez-Amezcuca y J. Lagunes L. 1993. Efecto de la naloxona sobre la liberación de hormona luteinizante y el inicio de la ciclicidad en vacas de doble propósito. *Mem. Reun. Anual de Inv. Pec. Jalisco.* p. 180.
- Rumsey T. S., J. Bitman, H. Tao, and A. S. Kozak. 1985. Changes in plasma concentrations of thyroxine and triiodothyronine in beef steers fed different levels of propylthiouracil. *J. Anim. Sci.* 60:1454.
- Rund L. A., L. S. Leshin, F. N. Thompson, G. B. Rampacek, and T. E. Kiser. 1989. Influence of the ovary and suckling on luteinizing hormone response to naloxone in postpartum beef cows. *J. Anim. Sci.* 67:1527.
- Rusche W. C., L. R. Cochran, Corah L. R., J. S. Stevenson, D. L. Harmon, R. T. Brandt Jr, and J. E. Minton. 1993. Influence of source and amount of dietary protein on performance, blood metabolites, and reproductive function of primiparous cows. *J. Anim. Sci.* 71:557.
- Rutter L. M., and J. G. Manns. 1987. Hypoglycemia alters pulsatile luteinizing hormone secretion in the postpartum cow. *J. Anim. Sci.* 64:479.
- Rutter L. M., and J. G. Manns. 1991. Insulin-like growth factor 1 in follicular development and function in postpartum beef cows. *J. Anim. Sci.* 69:1140.
- Rutter L. M., and R. D. Randel. 1984. Postpartum nutrient intake and body condition: Effect of pituitary function and onset of estrus in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 58:265.
- Rutter L. M., R. Snopeck, and J. G. Manns. 1989. Serum concentrations of IGF-1 in postpartum beef cows. *J. Anim. Sci.* 67:2060.

- Salcedo M. E., E. González-Padilla, O. L. Rodríguez R. y C. Ramos F. 1977. Efecto del destete precoz en el comportamiento reproductivo de vacas empadradas en agostadero. *Téc. Pec. Méx.* 32:36.
- Sano H., S. Narahara, T. Kondo, A. Takashi, and Y. Terashima. 1993. Insuline responsiveness to insuline during lactation in dairy cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 10(3):191.
- Sartin J. L., K. A. Cummins, R. J. Kempainen, R. Carnes, D. G. McClary, and J.C. Williams. 1985. Effect of propionate infusion on plasma glucagon, insulin, and growth hormone concentrations in dairy cows. *Acta Endocrinol.* 109:348.
- Selk G. E., R. P. Wetteman, K. S. Lusby, J. W. Oltjen, S. L. Mobley, R. J. Rasby, and J. C. Garmendia. (1988). Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. *J. Animal Sci.* 66:3153.
- Shemm S. R., D. R. Deaver, L. C. Gtiel, and L. D. Muller. 1990. Effects of recombinant bovine somatotropin on luteinizing hormone and ovarian function in lactating dairy cows. *Biol. Reprod.* 42:1.
- Shively T. E., and G. L. Williams. 1989. Patterns of tonic luteinizing hormone release and ovulation frequency in suckled anestrous beef cows following varying intervals of temporary weaning. *Domest. Anim. Endocrinol.* 6:379.
- Short R. E., and D. C. Adams. 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle production. *Can. J. Anim. Sci.* 68:29.
- Short R. E., A. Bellows, R. B. Staigmiller, J. G. Berardinelli, and E. E. Custer. 1990. Physiological mechanism controlling anestrus and fertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:799.
- Silveira P. A., R. A. Spoon, D. P. Ryan, and G. L. Williams. 1993. Evidence for maternal behavior as a requisite link in suckling-mediated anovulation in cows. *Biol. Reprod.* 49:1338.
- Simpson R. B., J. D. Armstrong, R. W. Harvey, D. C. Miller, E. P. Heimers and R. M. Campbell. 1991. Effect of active immunization against growth hormone-releasing factor on growth and onset of puberty in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 69:4914.
- Sirois J., and J. E. Fortune. 1990. Lengthening the bovine estrous cycle with low levels of exogenous progesterone: a model for studying ovarian follicular dominance. *Endocrinology* 127:916.

- Smith S. M., P. E. Johnson, H. C. Lukasky. 1993. In vitro hepatic thyroid hormone deiodination in iron deficient rats: Effect of dietary fat. *Life Science* 53 (8):603.
- Spicer L. J., K. Leung, E. M. Convey, J. Gunther, R. E. Short, and H. A. Tucker. 1989. Anovulation in postpartum suckled beef cows. I. Association among size and numbers of ovarian follicles, uterine involution, and hormones in serum and follicular fluid. *J. Anim. Sci.* 62:734.
- Spicer L. J., K. Sejrsen, H. A. Tucker, and J. T. Huber. 1984. Secretion of luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone from overfeeding dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 67:1993.
- Spicer L. J., W. B. Tucker, and G. D. Adams. 1990. Insuline like growth factor-1 in dairy cows: relationships among energy balance, body condition, ovarian activity, and estrous behaviour. *J. Dairy Sci.* 73:929.
- Spicer L. J., R. K. Vernon, W. B. Tucker, R. P. Wettemann, J. F. Hogue, and G. D. Adams. 1993. Effects of inert fat on energy balane, plasma concentratios of hormone, and reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:2664.
- Spitzer J. C., D. G. Morrison, R. P. Wetteman, and L. C. Faulkner. 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 73:1251.
- Staples C. R., W. W. Thatcher, and J. H. Clark. 1990. Relationship between ovarian activity and energy status during early pospartum period of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73:938.
- Swanson E. W., and J. K. Miller. 1973. Restoration of normal lactation in hypothyroid cows. *J. Anim. Sci.* 56:92.
- Taurog A. 1996. Hormone synthesis: Thiroid iodine metabolism. In: L. E. Braverman and R. D. Utiger (ed) *The Thyroid* (7<sup>th</sup> ed ) pp 47-81 Lippincott-Raven, Philadelphia, PA.
- Tejada de H. I. 1985. Manual de laboratorio para el análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Ed. Patronato de Apoyo a la Investigación Pecuaria en México, A. C. México D. F.
- Thomas M. G., O. S. Gazal, G. L. Williams, R. L. Stanko, and D. H. Keisler. 1999. Injection of neuropeptide Y into the third cerebroventricle differentially influences pituitary secretion of luteinizing hiormone and growth hormone in ovariectomized cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 16(3):159.

- Thrift T. A., A. Bernal, A. W. Lewis, D. A. Neuendorff, C. C. Willard, and R. D. Randel. 1999. Effects of induced hypothyroidism or hyperthyroidism on growth and reproductive performance of Brahman heifers. *J. Anim. Sci.* 77:1833.
- Thrift T. A., A. Bernal, A. W. Lewis, D. A. Neuendorff, C. C. Willard, and R. D. Randel. 1999. Effects of induced hypothyroidism on weight gains, lactation, and reproductive performance of primiparous cows. *J. Anim. Sci.* 77:1844.
- Trenkle A. 1978. Relation of hormonal variations to nutritional studies and metabolism of ruminants. *J. Dairy Sci.* 61:281.
- Tucker H. A. 1971. Hormonal response to milking. *J. Anim. Sci.*, 32 (Suppl. 1): 137.
- Tucker H. A. 1988. Lactation and its hormonal control. In: *The Physiology of Reproduction* de By E. Knobil and J. Neill et al. Raven Press, Ltd., New York p. p. 2235.
- Umoh J. E., and W. Holmes. 1974. The influence of type and level of supplementary feed on intake and performance of beef cattle on pasture. *J. Br. Grassl. Soc.* 29:31.
- van der Honing Y. 1979. The utilization by high yielding cows of energy from animal tallow or soya bean oil added to a diet rich in concentrates. *Proc. 8th Symp. Energy Metab. Eur. Assoc. Anim. Prod. Publ. No 26.* L E Mount Ed Butterworths, London Engl.
- Vasilatos R., and P. J. Wangness. 1981. Diurnal variations in plasma insuline and growth hormone associated with two stages of lactation in high dairy producing cows. *Endocrinology* 108:300.
- Vermorel M., and J. B. Coulon. 1998. Comparison of the National Research Council Energy System for lactating cows with four European Systems. *J. Dairy Sci.* 81:846.
- Verde L. S., and A. Trenkle. 1987. Concentrations of hormones in plasma from cattle with different growth potentials. *J. Anim. Sci.* 64:426.
- Villa-Godoy A. y A. A. Arreguín. 1993. Tecnología disponible y principales líneas de investigación para resolver el anestro posparto en vacas de doble propósito. XVI Simposium de Ganadería Tropical, INIFAP-SARH, Veracruz pp 55-84.
- Villa-Godoy A., T. L. Hughes, R. S. Emery, L. T. Chapin, and R. L. Fogwell. 1988. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 71:1063.
- Villa-Godoy A., T. L. Hughes, R. S. Emery, W. J. Enright, A. D. Ealy, S. A. Zinn, and R. L. Fogwell. 1990. Energy balance and body condition influence luteal function in Holstein heifers. *Domest. Anim. Endocrinol.* 7 (2):135.

- Villa-Godoy A., F. Millian, R. L. Fogwell. 1991. El grosor de la grasa subcutánea al parto y sus cambios al inicio de la lactancia afectan la fertilidad en vacas Holstein. Resumen de Trabajos del IV Congreso Panamericano de la Leche. Comisión Nacional de la Leche, SARH, Gobierno del Edo. de Jalisco. Guadalajara Jal. p. 62.
- Villagómez A. M. E. y J. Fajardo G. 1990. Comportamiento reproductivo de hembras cebú en clima tropical. X Simposium de Ganadería Tropical. INIFAP-SARH, Veracruz p.63.
- Wachs E. A., R. C. Gorewit, and W. B. Currie. 1984. Half-life clearance and production rate for oxytocin in cattle during lactation and mammary involution. *Domestic Anim. Endocrinol.*, 1:121.
- Wakin A. N., S. L. Polizotto, M. Buffo, M. A. Marrero, D. R. Burholt. 1993. Thyroid hormone in human follicular fluid and thyroid hormone receptors in human granulosa cells. *Fertility and Sterility* 59 (6):1187.
- Walters D. L., C. C. Kaltenbach, T. G. Dunn, y R. E. Short. 1982a. Pituitary and ovarian function in postpartum beef cows. I Effect of suckling on serum and follicular fluid hormones and follicular gonadotropin receptors *Biol of Reprod* 26:640.
- Walters D. L., R. E. Short, E. M. Convey, R. B. Staigmiller, T. G. Dunn, and C. C. Kaltenbach. 1982b. Pituitary and ovarian function in postpartum beef cows. II Endocrine changes prior ovulation in suckled and non-suckled postpartum cows compared to cycling cows. *Biol. of Reprod.* 26:647.
- Waterlow J. C., P. J. Garlick, and D. J. Millward. 1978. Protein turnover in mammalian tissues and in the whole body, Elsevier, Amsterdam.
- Webb P. 1984. Human calorimeters. New York Praeger.
- Webb R., G. E. Lamming, N. B. Haynes, and G. R. Foxcroft. 1980. Plasma progesterone and gonadotrophin concentrations and ovarian activity in post-partum dairy cows. *J. Reprod. Fertility* 59:133.
- Weiss W. P. 1998. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:830.
- Wetteman R. P., E. J. Turman, R. D. Wyatt, and Totusek?. 1978. Influence of suckling intensity on reproductive performance of range cows. *J. Anim. Sci.* 47:342.
- Whisnant C. S., T. E. Kiser, F. N. Thompson, and J. B. Hall. 1985. Effect of nutrition on the LH response to calf removal and GNRH. *Theriogenology* 24:585.

- Whitelaw F. G. 1974. Measurement of energy expenditure in the grazing ruminant. *Proceeding of the Nutrition Society*, 33:163.
- Wiley J. S., M. K. Petersen, R. P. Ansotegui, and R. A. Bellows. 1991. Production from first-calf heifers fed a maintenance or low level of prepartum nutrition and ruminally and undegradable protein postpartum. *J. Anim. Sci.* 69:4279.
- Williams G. L. 1989. Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipid. *J. Anim. Sci.* 67:785.
- Williams G. L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 68:831.
- Wiltbank J. N., and A. C. Cook. 1958. The comparative reproductive performance of nursed cows and milked cows. *J. Anim. Sci.* 17:640.
- Wiltbank J. N., W. W. Rowden, J. E. Ingalls, and D. R. Zimmerman. 1964. Influence of postpartum energy level on reproductive performance of Hereford cows restricted in energy intake prior to calving. *J. Anim. Sci.* 23:1049.
- Winer B. J. 1971. *Statistical principles in experimental design*. Mc Graw-Hill Company. Chapter 3: p.p 199-269.
- Wright I. A., S. M. Rhind, A. J. F. Russel, T. R. Whyte, A. J. McBean, and S. R. McMillen. 1987. Effects of body condition, food intake and temporary calf separation on the postpartum anoestrus period and associated LH, FSH, and prolactin concentrations in beef cows. *Anim. Prod.* 38:23.
- Wright I. A., S. M. Rhind, T. K. Whyte, and A. J. Smith. 1992. Effects of body condition at calving and feeding level after calving on LH profiles and the duration of postpartum anoestrus period in beef cows. *Anim. Prod.* 55:41.
- Xu Z. Z., M. F. McDonald, and S. N. McCutcheon. 1989. The effects of nutritionally-induced liveweight differences on follicular development, ovulation rate, oestrus activity and plasma follicle-stimulating hormone levels in the ewe. *Anim. Reprod. Sci.* 19:67.
- Zurek E., G. R. Foxcroft, and J. J. Kennelly. 1995. Metabolic status and interval to first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1909.