

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS
POSTGRADO EN REPRODUCCIÓN ANIMAL
Y TECNOLOGÍA DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL



**PERFIL METABÓLICO Y REINICIO DE ACTIVIDAD OVÁRICA
POST-PARTO EN VACAS DOBLE PROPÓSITO**

M V. Jhonny León Latouche

Enero 2012

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS
POSTGRADO EN REPRODUCCIÓN ANIMAL
Y TECNOLOGÍA DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

**PERFIL METABÓLICO Y REINICIO DE ACTIVIDAD OVÁRICA
POST-PARTO EN VACAS DOBLE PROPÓSITO**

M V. Jhonny León Latouche

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster Scientiarum en Reproducción Animal y Tecnología de la
Inseminación Artificial

Tutor: José Humberto Rivas, M.V., MSc.
Co-Tutora: Thaís del Valle Díaz, M.V., MSc., PhD.

Enero 2012



VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo de Grado presentado por: **JHONNY GABRIEL LEÓN LATUOCHE** Cédula de identidad N° 15.257.804, bajo el título "**PERFIL METABÓLICO Y REINICIO DE ACTIVIDAD OVÁRICA POSTPARTO EN VACAS DOBLE PROPÓSITO**", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **MAGISTER SCIENTIARUM EN REPRODUCCIÓN ANIMAL Y TECNOLOGÍA DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL**, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 09 de Marzo de 2012 a las 08:00 AM., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en el Salón de Conferencias del Instituto de Reproducción Animal "Dr. Abraham Hernández Prado", mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **aprobarlo**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado aporta información relevante del estatus metabólico de vacas Doble Propósito durante el postparto, en Venezuela.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 09 días del mes de Marzo del año 2012, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinadora del jurado la Profesora Thais del Valle Díaz.

Amiguita

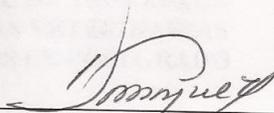
57

Thais del Valle Díaz

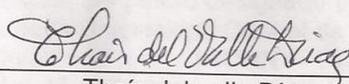
El presente trabajo fue realizado bajo la dirección de José Humberto Rivas y Thais del Valle Díaz.



Dr. Pedro Bastidas M.
C.I. No. 3.464.674
Facultad de Ciencias Veterinarias, UCV



Dr. Carlos Domínguez
C.I. No. 2.522.078
Universidad Nacional Experimental
Rómulo Gallegos



Thais del valle Díaz
C.I. No. 4.550.709
Facultad de Ciencias Veterinarias, UCV
Tutora

YPRB/09-03-2012

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y esposa.....

AGRADECIMIENTO

A Dios, que no manda cosas imposibles, sino que invita a hacer lo que puedas, pedir lo que no puedas y ayuda a lograrlo...

A mis padres, por todo lo que soy...

A mi esposa, por el apoyo incondicional...

A la Universidad Central de Venezuela, por la formación académica...

A la Profa. Thaís Díaz, por la orientación, apoyo y estímulo, que hicieron posible el alcance de esta meta...

Al Prof. José Rivas, por toda la ayuda brindada en estos años...

A los Profs. Julio Garmendia y Omar Verde, por brindarme sus conocimientos...

Al Prof. Mario Rossini, Crisna y personal del Laboratorio de Patología Clínica de la FCV-UCV, por el tiempo, apoyo y colaboración...

Al personal administrativo, empleado y obrero de la EE La Antonia, por la ayuda en el trabajo de campo...

Al Prof. Alejandro Salvador, por su tiempo...

A Yusmili, por su colaboración...

A todos aquellos que hicieron posible este trabajo...

GRACIAS!...

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el perfil metabólico y reinicio de la actividad ovárica durante los primeros 105 d de lactancia en vacas Doble Propósito. Se utilizaron 23 vacas mestizas (Holstein x Brahman), con alta proporción de Holstein; con edades comprendidas entre 3 y 9 años; y con una distribución entre 1 y 6 partos. La alimentación basal de las vacas fue a base de pastoreo rotacional, de pastos cultivados (*Panicum maximun*, *Cynodon nlemfuensis*). En cada ordeño, se les suministró 1 Kg de alimento concentrado comercial a las vacas con producción <8 L/d (vacas de baja producción), 2 Kg a las vacas de 8 a 15 L/d (mediana producción) y 3 Kg de alimento a las vacas con producción >15 L/d (alta producción). Se realizaron cuatro mediciones del peso corporal (PC) y de la condición corporal (CC), al momento del parto, a los 30, 60 y 90 d de lactancia. Durante las primeras 15 semanas de lactancia, se midió semanalmente los niveles séricos de proteínas totales (PT), albúmina (Alb), globulina (Glo), urea (Ure), glucosa (Glu), fructosamina (Fru), colesterol (Col), triglicéridos (Tri) y β -hidroxibutirato (β OHbut). Se registró, mediante palpación transrectal, el intervalo parto-primer cuerpo lúteo (IP1CL) como variable reproductiva. Para la evaluación de las variables mencionadas se utilizó un análisis de varianza, usando el procedimiento Modelo Lineal Generalizado del Sistema de Análisis Estadístico; además, se realizó una correlación de Pearson y regresión *Stepwise* entre los indicadores metabólicos y el IP1CL. Se registró pérdida de PC y CC durante los dos primeros meses de lactancia ($p < 0,01$), en especial en las vacas de alta producción; además, durante este período, se detectó un balance energético negativo (BEN) en mayor proporción para el mismo grupo de vacas. Los niveles de Alb afectaron el IP1CL ($p < 0,05$). El manejo nutricional pre y postparto, es necesario para reducir las pérdidas de PC y CC, y la severidad del BEN durante los primeros meses de lactancia, estabilizando, en menor tiempo, los metabolitos sanguíneos, lo que está asociado a la reanudación del comportamiento reproductivo posterior al parto.

Palabras clave: vacas Doble Propósito, periodo postparto, balance energético negativo, metabolitos sanguíneos.

ABSTRACT

In order to determine the metabolic profile and the resumption of the cyclical ovarian activity during the first 105 d of lactation in crossbred Dual Purpose cows, 23 Holstein x Brahman cows, with ages between 3 to 9 years and 1 to 6 parturitions, were used. Cows were fed with *Panicum maximun*, *Cynodon nlemfuensis* and they received a commercial concentrate according to the milk production (1 Kg for cows producing < 8 L/d (low milk production), 2 Kg for cows producing 8 to 15 L/d (medium milk production) and 3 Kg for cows producing > 15 L/d (high milk production). Body weight and body condition were measured at parturition, at 30, 60 and 90 d postpartum. Every week, during the first 15 weeks of lactation, blood samples were taken in order to determine total protein (TP), albumin (Alb), globulin (Glo), urea (Ure), glucose (Glu), fructosamine (Fru), cholesterol (Col), triglicerides (Tri) and β -hidroxibutirate (β OHbut) in serum. Interval from parturition to first corpus luteum (CL), as a reproductive variable, was measured trough weekly rectal palpation. Data were analyzed through analysis of variance using the General Linear Model, a Pearson correlation and a *Stepwise* regression were performed to analyze the relation between the measured metabolites and the interval from parturition to first CL. Cows lost body weight and body condition during the first two moths postpartum especially those cows in the group of high milk production. In addition, the same group of cows had a negative energy balance (NEB), during the same period. Levels of Alb affected the interval between calving and the first CL ($p < 0.005$). Nutritional management should be handled in such a way to reduce the lost of body weight and body condition score during the pre and postpartum periods as well as the severity of the NEB during the first months of lactation, stabilizing in a short time the blood metabolites, which would be associated with the resumption of the postpartum cyclical ovarian activity.

Key words: Dual Purpose cows, postpartum period, negative energy balance, blood metabolites.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	6
Interacción Nutrición-Reproducción	6
Fisiología del Ciclo Estral	8
Fisiología del Período Postparto	10
Involución uterina	10
Anestro postparto	11
Factores que influyen sobre el anestro postparto	12
Reinicio de la actividad ovárica postparto	13
Balance Energético	16
Perfil Metabólico	18
Indicadores del perfil metabólico	19
Metabolitos convencionales.....	20
Metabolitos no convencionales	20
Metabolitos asociados al metabolismo proteico del rumiante	21
Urea	22
Aminoácidos	24
Proteínas plasmáticas	24
Albúmina	24

	Pág.
Globulinas	25
Hemoglobina y hematocrito	25
Metabolitos asociados al metabolismo energético del rumiante	26
Glucosa	26
Fructosamina	28
Lípidos	29
Colesterol	30
Triglicéridos	30
β -hidroxibutirato	30
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	32
Área de Investigación	32
Unidades Experimentales	33
Diseño Experimental	34
Condición corporal	35
Peso corporal	35
Muestras de sangre	35
Métodos de Cuantificación de Metabolitos	36
Colorimetría	36
Proteínas plasmáticas totales	37
Albúmina	37
Urea	37
Glucosa	38
Fructosamina	38
Colesterol	38
Triglicéridos	38
β -Hidroxibutirato	39
Comportamiento reproductivo	40
Análisis Estadístico	40

Cambios en la condición corporal y peso corporal	40
Indicadores del perfil metabólico	41
Perfil metabólico	42
Comportamiento reproductivo	43
Perfil metabólico y comportamiento reproductivo	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Producción de Leche	45
Cambios de Condición Corporal	46
Cambios de Peso Corporal	48
Metabolitos Asociados al Metabolismo Proteico del Rumiante	50
Proteínas plasmáticas totales	50
Albúmina	52
Globulina	52
Urea	53
Metabolitos Asociados al Metabolismo Energético del Rumiante	54
Glucosa	54
Fructosamina	56
Colesterol	57
Triglicéridos	59
β-Hidroxibutirato	60
Perfil Metabólico	62
Comportamiento Reproductivo	67
Perfil Metabólico y Reinicio de la Actividad Ovárica	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Principales metabolitos asociados al metabolismo proteico del rumiante	22
2	Principales metabolitos asociados al metabolismo energético del rumiante	27
3	Valores promedios de la composición bromatológica del pasto y alimento concentrado ofrecidos a las vacas durante el estudio	33
4	Variables evaluadas, unidades de medida y métodos de laboratorio utilizados en la determinación de los indicadores metabólicos	40
5	Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 1 de lactancia en vacas Doble Propósito	63
6	Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 5 de lactancia en vacas Doble Propósito	64
7	Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 9 de lactancia en vacas Doble Propósito	65
8	Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 13 de lactancia en vacas Doble Propósito	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Función integrada y continua del eje hipotálamo–hipófisis–ovario	9
2	Diseño Experimental	34
3	Producción diaria de leche de vacas Doble Propósito de alta (>15L), media (8-15L) y baja (<8L) producción durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	45
4	Cambios en la condición corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	46
5	Cambios en la condición corporal de vacas Doble Propósito de acuerdo al nivel de producción de leche durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	47
6	Cambios de peso corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	49
7	Cambios de peso corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas) de acuerdo al número de partos	49
8	Niveles de albúmina, globulina y proteínas totales de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	51
9	Niveles de urea de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	53
10	Niveles de glucosa de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	55

Figura		Pág.
11	Niveles de fructosamina de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	57
12	Niveles de colesterol de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	58
13	Niveles de triglicéridos de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	59
14	Niveles de β -hidroxibutirato de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas)	61

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El ciclo productivo de la vaca comprende desde un parto hasta el siguiente parto; involucra una serie de eventos fisiológicos entre los que se encuentra el puerperio o post-parto temprano, periodo crítico para la vaca, debido a las altas demandas en el ámbito metabólico, ya que necesita restablecer sus reservas de nutrientes perdidas durante la gestación y el parto, seguir su crecimiento corporal (en caso de ser vaca de primer parto), producir leche para la cría, llevar a cabo el proceso de involución uterina, activar sistemas de regulación de temperatura corporal (si son vacas sometidas a estrés térmico) y por último, reiniciar la actividad reproductiva (Vázquez-Añón *et al.*, 1994).

Este periodo también es crítico para el productor, ya que el tiempo que tarde la vaca en reiniciar la actividad reproductiva, se verá reflejado en la rentabilidad del sistema de producción, teniéndose que mientras más tiempo perdure este evento, mayor es el número de días vacíos, alargándose el intervalo entre partos.

El reinicio de la actividad ovárica está influenciado por diversos factores; uno de ellos es la nutrición (Wettemann *et al.*, 2003). Una herramienta útil en la evaluación del estado nutricional, es el perfil metabólico (Álvarez, 2001). El perfil metabólico (PM) se basa en el análisis de las

concentraciones de metabolitos sanguíneos de las principales vías metabólicas y la comparación de los mismos con valores de referencia.

Vázquez-Añón *et al.* (1994), han señalado que existen variaciones en los indicadores metabólicos durante el ciclo productivo de la vaca. En Venezuela, no se conoce la magnitud de esas variaciones en los sistemas de producción Doble Propósito, siendo una limitante importante al momento de mejorar el manejo de los rebaños e incrementar la productividad de los mismos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el perfil metabólico y reinicio de la actividad ovárica durante los primeros 105d de lactancia en vacas Doble Propósito.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar cambios de condición corporal durante los primeros 105d de lactancia en vacas Doble Propósito.
2. Evaluar cambios en el peso corporal durante los primeros 105d de lactancia en vacas Doble Propósito.
3. Evaluar los indicadores del perfil metabólico durante los primeros 105d de lactancia en vacas Doble Propósito, mediante:
 - Indicadores del metabolismo de elementos nitrogenados:
 - Urea
 - Proteínas totales
 - Albúmina
 - Globulinas
 - Indicadores del metabolismo energético:
 - Glucosa
 - Fructosamina
 - Colesterol
 - Triglicéridos
 - β -hidroxibutirato

4. Definir el perfil metabólico de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia.
5. Determinar el comportamiento reproductivo en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia, mediante el Intervalo parto primer cuerpo lúteo.
6. Establecer las correlaciones entre indicadores del perfil metabólico y reinicio de actividad ovárica en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia.

JUSTIFICACIÓN

El objetivo de una unidad de producción animal es obtener proteína de origen animal de buena calidad para el consumo humano. En los sistemas de producción de leche con vacunos, el manejo reproductivo afecta directamente la producción de leche; por lo tanto, las mejoras en su desempeño, garantizarán avances en la productividad y, consecuentemente, mayores beneficios para la población humana.

El puerperio es un periodo durante el cual ocurren muchos cambios metabólicos que influyen sobre la fertilidad de la vaca y además coincide con el inicio de la lactancia (Wathes *et al.*, 2007). El análisis del perfil metabólico, constituye una herramienta útil en la evaluación de estos cambios metabólicos.

En Venezuela, valores hematológicos y de algunos constituyentes sanguíneos para ganado bovino, de distintas razas, sexos y edades y en diferentes estados fisiológicos han sido publicados por Ramírez *et al.* (1998; 1999; 2001), Parra *et al.* (1999), entre otros. Sin embargo, Ramírez *et al.* (2001), señalan que los estudios sobre perfiles metabólicos, durante el inicio de la lactancia, son escasos. Por lo tanto, de acuerdo a esto último y dada la importancia e influencia que ejerce el inicio de la lactancia sobre la productividad del rebaño, el propósito de este trabajo, es determinar el perfil metabólico durante el puerperio y su relación con el reinicio de la actividad ovárica postparto en vacas doble propósito.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Interacción Nutrición-Reproducción

La reproducción es la piedra angular de todo sistema de producción con vacunos, pues de un adecuado funcionamiento reproductivo, se generan los animales de reemplazo, la producción de leche y la venta de animales excedentes. No menos cierto, es que la actividad reproductiva está fuertemente influenciada por el nivel de alimentación del individuo. Según Lucy (2003), el nivel nutricional influye sobre la dinámica del eje hipotálamo–hipófisis–ovario, condicionando la función reproductiva.

Durante las últimas semanas de gestación e inicio de la lactancia, las vacas lecheras presentan un período de desbalance energético; el mismo ocurre, entre otras cosas, porque el pico de producción de leche se establece 4 a 6 semanas antes del pico de ingesta de materia seca y la energía utilizada para el mantenimiento y la producción de leche, es mayor que la energía incorporada con el alimento (balance energético negativo, BEN); ocasionando alteraciones en los niveles sanguíneos de algunos metabolitos y algunas hormonas. Esta alteración está generalmente asociada con un compromiso de la función ovárica y de la fertilidad. Un atraso en la ovulación postparto está directamente relacionado con el estatus energético de la vaca (Beam y Butler, 1998), o sea que cuanto mayor es el BEN, mayor es el tiempo que transcurre hasta la primera ovulación.

El retraso en la primera ovulación postparto está asociado a efectos adversos en la eficiencia reproductiva subsiguiente (Senatore *et al.*, 1996).

Durante este BEN hay una pérdida de la condición corporal (CC) en las vacas, que se exagera con la disminución en la ingestión alimentaria. Esta disminución en la CC está directamente asociada con el retraso en la primera ovulación y el aumento del intervalo parto-concepción. Las vacas con mayor pérdida de CC durante las primeras semanas de lactancia, presentarán una peor eficiencia reproductiva, entre ellas, las que parirán con CC elevada. El mecanismo por el cual el BEN o la pérdida de CC están relacionados con el retraso en la ovulación postparto está probablemente asociado con la baja pulsatilidad de hormona luteinizante (LH). El restablecimiento de la normal pulsatilidad de LH es un factor determinante para el inicio del crecimiento folicular y la ciclicidad en las vacas postparto (Zulu *et al.*, 2002).

En cuanto a los niveles de proteína, se ha observado que tienen un efecto negativo en el comportamiento reproductivo, cuando el aporte de éstas en la dieta está aumentado, lo que normalmente ocurre en el postparto en vacas de producción de leche (Butler, 2000).

En vacas lactantes es esencial un adecuado aporte de energía y proteína, ya que disminuye la pérdida de peso corporal, mantiene o aumenta la producción de leche y estimula el comportamiento reproductivo (Rhodes *et al.*, 1996). Dietas bajas en proteínas, reducen el consumo voluntario con el

resultado de un inadecuado consumo de energía y proteína (Dunn y Moss, 1992), afectando la ganancia de peso pre y postparto, con la consecuencia de un menor porcentaje de vacas en celo, baja tasa de concepción al primer servicio e incremento en el intervalo entre partos; respuesta que en vacas Brahman, está vinculada con un menor consumo de energía, escasa absorción de aminoácidos (Triplett *et al.*, 1995) y cambios en los mecanismos endocrinos que controlan los eventos reproductivos (Bossis *et al.*, 1999). La deficiencia de energía es más detrimental para la reproducción que la deficiencia de proteínas (Butler, 2000).

Fisiología del Ciclo Estral

Mecanismos asociados con el mantenimiento de la actividad reproductiva en vacas, resulta de la integración funcional del eje hipotálamo–hipófisis–ovario (Figura 1). El centro cerebral del eje reproductivo está estructurado de tal forma que neuronas secretoras del hipotálamo basal medio y del área preóptica, tienen sus terminaciones en la eminencia media. Estas neuronas secretan la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), al sistema hipotálamo-hipofisial portal, el cual transporta la hormona hasta la hipófisis anterior, donde se estimula la síntesis y secreción de gonadotropinas: hormona folículo estimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH). El crecimiento y desarrollo folicular temprano, es iniciado por la acción de la FSH. La secreción tónica de GnRH estimula un patrón de liberación por ondas de LH, que ocurre una vez cada 1 ó 2 h. La función de la LH es la

maduración final del folículo dominante preovulatorio y la inducción posterior de la ovulación (Hess *et al.*, 2005).

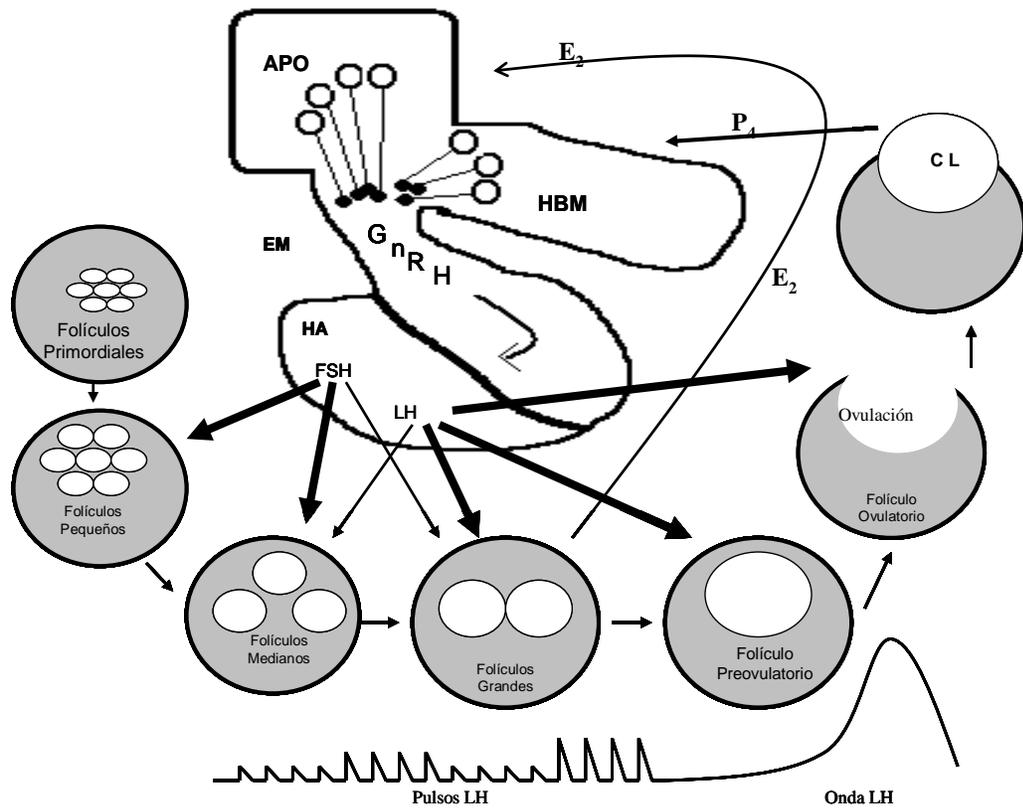


Figura 1. Función integrada y continua del eje hipotálamo–hipófisis–ovario (Modificado de Hess *et al.*, 2005).

APO= área preóptica del hipotálamo; CL= cuerpo lúteo; E₂= estradiol; EM= eminencia media; HBM= hipotálamo basal medio; HA= hipófisis anterior; y P₄= progesterona.

La producción de E₂, por el folículo ovárico, eventualmente alcanza un nivel umbral, ejerciendo un efecto de retroalimentación positiva sobre la liberación de una onda de GnRH por el hipotálamo, estimulando la secreción de una onda de alta amplitud de LH, por parte de la hipófisis, que trae como consecuencia la ovulación. Subsecuentemente, se forma el cuerpo lúteo (CL) que produce progesterona (P₄), la cual suprime la secreción de GnRH. La

lisis del CL conlleva a una disminución en la concentración de P_4 en sangre, lo que permite que este proceso se repita (Hess *et al.*, 2005).

El mantenimiento del CL, causado por el reconocimiento maternal de la gestación, resulta en un continuo efecto de retroalimentación negativa y anestro por toda la gestación y durante del periodo postparto temprano (Hess *et al.*, 2005).

Fisiología del Periodo Postparto

El postparto, también llamado puerperio, es el periodo que se inicia inmediatamente después del parto; está influenciado por diversos factores, tales como: edad de la vaca, condición y peso corporal, producción de leche, nutrición, estación del año, y efectos del amamantamiento y presencia de machos (Kanuya *et al.*, 2006). Durante el postparto ocurren los siguientes procesos fisiológicos: involución uterina, cambios en el cérvix, anestro postparto, siendo necesario que ocurran cambios en la función hipotalámica e hipofisaria para la reanudación de la actividad cíclica ovárica.

Involución uterina: Inmediatamente después del parto, el cuerno grávido es considerablemente más grande que el no grávido. Por lo tanto, el cuerno grávido tiene que sufrir una reducción de tamaño, recuperar el tono muscular, tiene que haber descargas de líquidos fetales (loquios), regeneración y regresión del tejido uterino en general. Se considera que el útero ha involucionado cuando a la palpación transrectal, ambos cuernos

tienen el mismo tamaño y han alcanzado el tamaño que tenían antes de la gestación (Hafez y Hafez, 2002).

El tiempo requerido para la involución uterina hasta alcanzar el plano uno, en vacas, es de alrededor de 4 a 6 semanas, debido a la anatomía de su placentación o la relación materno-fetal, que es de forma cotiledonaria. Asimismo, este periodo puede verse prolongado por causa de partos anormales, distocias, retención de membranas fetales; observándose que en una vaca primípara el útero involuciona más rápido que en una múltipara (Hafez y Hafez, 2002).

Anestro postparto: La hembra bovina luego del parto entra en un estado en el cual no existe actividad reproductiva. Este evento es llamado anestro postparto, que para algunos autores es un período fisiológico, normal hasta cierto número de días (Williams, 1990).

El anestro es el estado de aciclicidad ovárica, reflejado por una completa inactividad sexual sin manifestación de estros (Wright y Malmo, 1992), sin ovulación y acompañada de concentraciones de progesterona en suero $<0,5\text{ng/mL}$ (Arreguín *et al.*, 1997).

En la hembra bovina, el anestro y la infertilidad durante el postparto fueron reconocidos como un problema hace más de 60 años (Short *et al.*, 1990). Esta condición está asociada con la presencia de ovarios lisos a la palpación, y aunque puede haber desarrollo folicular, ninguno de éstos madura lo suficiente (Montiel y Ahuja, 2005); como resultado de esta falta de

maduración del folículo, la ovulación no ocurre y es el momento en que se presenta el anestro (Moro *et al.*, 1994).

Durante el postparto hay un periodo de anestro normal. En vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* a pastoreo, éste es considerado como anormal cuando se extiende más de 90d (Fallas *et al.*, 1987). Períodos prolongados de anestro (> 150d) es característico en vacas *Bos indicus* y *Bos taurus* x *Bos indicus* de la región tropical (Montiel y Ahuja, 2005). En este tipo de vacas, el anestro es uno de los principales problemas, por ser un factor limitante de la eficiencia reproductiva, por su gran incidencia, lo que resulta en pérdidas económicas debido a las fallas en alcanzar un deseable intervalo entre partos de 12 meses (Vaccaro, 1990). El anestro postparto es más acentuado en vacas de carne que en las vacas de leche (Galina *et al.*, 1987).

Factores que Influyen sobre el anestro postparto: Los principales factores que afectan la duración del anestro postparto en vacas son: el estatus nutricional (medido a través de la escala de condición corporal) y el amamantamiento (Randel, 1990). Factores como la raza, la edad, el número de partos, la producción de leche, la época de parto, presencia o ausencia del toro, retardo en la involución uterina, distocias y el estado de salud en general, influyen sobre la duración del anestro postparto (Galina *et al.*, 1987).

Sin embargo, Wettemann *et al.* (2003), plantean que los principales factores son la nutrición y la presencia del becerro, y cualquier otro factor

considerado como una probable causa de este problema, solo modula el efecto provocado por estos dos.

La nutrición y el amamantamiento son los factores más influyentes sobre el reinicio de los ciclos ováricos durante el postparto; éstos afectan la actividad del eje hipotálamo–hipófisis–ovario y de esta manera, inhiben el desarrollo folicular (Montiel y Ahuja, 2005). Una nutrición por debajo de los requerimientos de la vaca, contribuye a prolongar el anestro postparto, particularmente en aquellas vacas que dependen sólo del forraje para cubrir parte o todos sus requerimientos metabólicos; además, puede también interactuar con la genética, el medio ambiente o factores de manejo que influyen sobre la duración del anestro; por lo tanto, se convierte en un problema complejo que aun no está claro, y en el cual interviene un mecanismo hormonal (Montiel y Ahuja, 2005).

Reinicio de la actividad ovárica postparto: Mecanismos asociados con el restablecimiento y el subsiguiente mantenimiento del estado reproductivo en vacas post-parto, resultan de la integración funcional del eje hipotálamo–hipófisis–ovario.

La producción de esteroides, por parte del ovario, continúa durante toda la gestación; sin embargo, el soporte gonadotrópico es insuficiente para facilitar el crecimiento y desarrollo folicular, con la formación de un folículo dominante de tamaño normal (Lucy, 2003). Además, esta producción de esteroides, principalmente de E_2 y P_4 , se eleva durante el último tercio de la

gestación y ejerce un fuerte efecto de retroalimentación negativa sobre el hipotálamo, resultando en la disminución de liberación de GnRH (Short *et al.*, 1990). Esta secreción de esteroides durante la gestación también agota las reservas de LH en la hipófisis (Wettemann *et al.*, 2003).

Al momento del parto, disminuye dramáticamente la concentración de estradiol y progesterona en la circulación (Williams, 1990) y, en teoría, con esto se removerían los efectos de retroalimentación negativa sobre el eje hipotálamo–hipófisis, permitiendo la recuperación gradual de la actividad ovárica.

En resumen, el reinicio de la actividad ovárica postparto viene dado, por la eliminación del efecto de retroalimentación negativa sobre el hipotálamo, lo que hace que se libere GnRH en forma gradual. Por otra parte, según Williams (1990), las reservas de LH han sido recuperadas y por lo tanto, los pulsos de la misma son liberados a la circulación sanguínea, de tal magnitud que son suficientes como para promover las fases finales de desarrollo folicular, la posterior ovulación y formación del CL. Éste último produce P_4 que es liberada a la circulación sanguínea.

Los niveles de P_4 en sangre son posibles de cuantificar con distintos métodos de cuantificación hormonal; uno de ellos es el radioinmunoanálisis (RIA), lo que hace posible la estimación del reinicio de la actividad ovárica postparto, evento que ocurre cuando se alcanzan en una muestra,

concentraciones de $P_4 > 1 \text{ ng/mL}$ o valores $> 0,5 \text{ ng/mL}$ en dos mediciones consecutivas (una por semana; Meikle *et al.*, 2003).

El CL formado también puede ser detectado por técnicas como ecografía y palpación transrectal. McDougall y Rhodes (1999), establecen comparaciones entre ambas técnicas, reportando una significativa y alta correlación entre la palpación y ecografía. Igualmente, los autores las asocian con los niveles de P_4 en plasma, señalando que el nivel de P_4 en plasma, en el cual la sensibilidad y la especificidad fueron óptimas para detectar un CL, fue de $0,675 \text{ ng/mL}$. Por lo tanto, se podría deducir el reinicio de la actividad ovárica con la detección de un CL, vía transrectal en dos palpaciones consecutivas con un intervalo de siete días, y que este CL podría estar asociado a niveles de P_4 en plasma $> 0,5 \text{ ng/mL}$.

Guerrero *et al.* (1994), establecen que el reinicio de la actividad ovárica ocurre en 20,4d posteriores al parto, en vacas mestizas Holstein y Carora, medido a través de niveles de P_4 en sangre; sin embargo, Ramírez *et al.* (1992) señalan, a través de niveles de P_4 en leche descremada, un intervalo de parto-reinicio de actividad ovárica de 59d en vacas predominantemente Holstein, en el estado Zulia.

Como se mencionó anteriormente, las reservas de LH son restablecidas relativamente rápido después del parto, pero en la mayoría de los casos, la baja sensibilidad por el efecto de retroalimentación negativa de E_2 (Short *et al.*, 1990), genera alteraciones en el patrón de liberación de LH

que contribuyen a la continuación del anestro postparto. Además, vacas nutricionalmente comprometidas parecen ser más sensibles a esta condición (Wettemann *et al.*, 2003), y pueden permanecer acíclicas por 100d o más (Williams, 1990) debido a la disminución de la amplitud y frecuencia de liberación de LH (Schillo, 1992).

Según Wettemann *et al.* (2003), en ganadería de carne, alrededor de los 30d postparto, la hipófisis anterior de las vacas posee concentraciones de gonadotropinas similares a las que poseen las vacas cíclicas y responden normalmente a GnRH exógena; por lo cual, periodos extensos de aciclicidad podrían ser atribuidos a efectos negativos de la crianza del becerro y a señales inapropiadas relacionadas con el estado nutricional. Por lo tanto, las investigaciones se han concentrado en identificar mensajeros endocrinos y metabólicos que puedan influenciar mecanismos mediados centralmente, que afectan la secreción de LH (Hess *et al.*, 2005).

Balance Energético

El estado energético se ha definido como la energía neta ingerida por el animal menos la energía neta requerida para el mantenimiento y la producción de leche (Thatcher *et al.*, 1998). La naturaleza del periodo alrededor del parto es importante para la salud y la fertilidad subsecuente de las vacas. Muchas de ellas entran en un estado de BEN posterior al parto, el cual está asociado con diversos cambios metabólicos que influyen en el

retorno y la normalidad de la ciclicidad estral y por lo tanto en la posterior inseminación (Wathes *et al.*, 2007).

La vaca lechera utiliza los nutrientes de la dieta para mantenimiento, producción de leche, ganancia de peso vivo y reproducción (estro, gestación). La energía y los nutrientes que la vaca ingiere al inicio de la lactancia, son usados principalmente para la producción de leche. A pesar de la administración *ad libitum* de dietas altas en energía, el nivel máximo de producción de leche, se alcanza por lo general a las 5 semanas postparto, mientras que el nivel máximo en el consumo de materia seca, se logra entre las 12 a 15 semanas postparto; por lo cual, la vaca hace uso de sus reservas corporales de energía para satisfacer la alta demanda energética durante las primeras semanas de lactancia, experimentando un periodo de BEN que puede prolongarse alrededor del primer trimestre postparto (Braun *et al.*, 1987).

El BEN está caracterizado por una disminución de los niveles de glucosa en sangre. El organismo responde sintetizando este metabolito a través de la gluconeogénesis, pero los precursores para este proceso, en el caso de BEN, se encuentran disminuidos, lo cual hace que se desvíe la utilización del acetato y se sinteticen cuerpos cetónicos (β -hidroxibutirato; Hawkins *et al.*, 1995); esta disminución de la disponibilidad de energía, produce un aumento en la movilización de tejido adiposo, el consecuente aumento de niveles de los ácidos grasos no esterificados (NEFA) en sangre y

por lo tanto mayor síntesis de cuerpos cetónicos como el β -hidroxibutirato (Hess *et al.*, 2005).

El BEN está asociado con diversos cambios en perfiles sanguíneos de hormonas y metabolitos, que traen como consecuencia disminución en el crecimiento folicular y en la liberación de LH, fallas en la ovulación, disminución del tamaño del CL, secreción de P_4 disminuida y por último, fallas en la concepción (Thatcher *et al.*, 1998; Bossis *et al.*, 1999).

Perfil Metabólico

Los análisis sanguíneos han recibido diferentes nombres desde hace varios años; se les conoce, entre otros, como valores hematoquímicos, cuadro hematoquímico, cuadro sanguíneo, composición química de la sangre, bioquímica sanguínea y, como se conoce en la actualidad, perfiles metabólicos (Álvarez, 2001).

La definición de perfiles metabólicos se desarrolló hace aproximadamente 30 años en Inglaterra (Ceballos *et al.*, 2002). Un simple análisis de sangre que incluya los sustratos adecuados, permitirá obtener la mayor cantidad de información relacionada con la nutrición y sanidad en la vaca, y determinar la presencia o no de factores de riesgo que puedan incidir en el desempeño productivo y reproductivo del rebaño. El uso de los perfiles metabólicos en el análisis de la situación de rebaños lecheros con problemas metabólicos o nutricionales, puede contribuir a aumentar los ingresos por rebaño. Sin embargo, el perfil por sí solo, no representa la mejoría productiva

y nutricional, por lo tanto debe establecerse todo un cambio en las diferentes condiciones en el rebaño que conduzcan finalmente al aumento de la productividad (Ceballos *et al.*, 2002).

Estudios realizados en el trópico, específicamente en Colombia (Ceballos *et al.*, 2002), han señalado variaciones del perfil metabólico durante el ciclo productivo en ganaderías lecheras. En Venezuela, la información referida a estas variaciones, en sistemas de producción de leche, es escasa, siendo esto una limitante importante al momento de incrementar la producción y garantizar la salud de los animales.

El perfil metabólico es definido como un examen paraclínico, empleado en el diagnóstico de las enfermedades de la producción, mediante el cual se determina, en grupos representativos de animales, la concentración de varios constituyentes orgánicos indicadores del balance de algunas vías metabólicas, y se comparan sus resultados con los valores de referencia de la población (Álvarez, 2001).

Indicadores del perfil metabólico: Según Álvarez (2001), el número de indicadores o metabolitos para determinar un perfil metabólico, es establecido por el médico veterinario en función del problema que se vaya a evaluar, de la concentración estable y suficiente de éstos en fluidos biológicos, teniendo que existir el basamento fisiológico de interpretación cuando se determinen concentraciones anormales. Se conocen dos grandes

grupos de indicadores metabólicos, los metabolitos convencionales y los no convencionales.

Metabolitos convencionales: Son los principales representantes de las vías metabólicas más importantes relacionadas con la producción. Involucran las constantes hematoquímicas comúnmente establecidas, tales como: volumen globular aglomerado, hemoglobina, glucosa, urea, proteínas totales, albúminas, globulinas, calcio, fósforo inorgánico, magnesio, potasio y sodio. Sus concentraciones sanguíneas, en la mayoría de los casos, están reguladas por el balance entre el aporte de la dieta y sus productos o vías de eliminación. Actualmente, este grupo queda reducido, por lo general, a las determinaciones del β -hidroxibutirato, las proteínas totales, la albúmina, la urea y el fósforo inorgánico, pues brindan una información rápida y precisa del metabolismo animal (Álvarez, 2001).

Metabolitos no convencionales: Son los indicadores hematoquímicos incluidos por el médico veterinario de acuerdo con la problemática que se estudie. Así, entre otras variables, están los oligoelementos cobre y zinc, proteína ligada al yodo (PBI) y tiroxina, y algunos indicadores del funcionamiento hepático, como las transaminasas y la bilirrubina, el colesterol, la glutatión peroxidasa y los cuerpos cetónicos (Álvarez, 2001).

Existen metabolitos que están fuertemente controlados por mecanismos hormonales homeostáticos, que hacen que sus niveles sanguíneos se mantengan constantes; y otros metabolitos que, por la

dificultad de las técnicas empleadas para su medición, que dan falsos resultados, fueron dejados de lado (Wittwer, 2000b).

De acuerdo a Wittwer (2000a), las variables a considerar para la determinación de un perfil metabólico en vacas en sistemas de producción de leche, son: observación de la condición corporal, determinación de niveles de β -hidroxibutirato y colesterol, como representantes del metabolismo energético; y urea, como representante del metabolismo proteico. Además, puede ir acompañado de indicadores productivos, como por ejemplo la producción de leche. Para la interpretación del perfil metabólico, Wittwer (2000b), recomienda analizar los indicadores, mencionados anteriormente, en sistemas estadísticos computarizados y compararlos con datos de referencia.

Metabolitos asociados al metabolismo proteico del rumiante: Las proteínas son las moléculas más abundantes y las de mayor significación y complejidad entre todas las que se encuentran a escala celular; por lo tanto, son constituyentes esenciales de los organismos vivos. Entre los principales metabolitos asociados con el metabolismo proteico se encuentran: urea, aminoácidos, proteínas plasmáticas (albúmina y globulinas) y hemoglobina (Cuadro, 1).

Cuadro 1. Principales metabolitos asociados al metabolismo proteico del rumiante.

Indicador	Valor de referencia	
	Unidades Internacionales	Unidades Tradicionales
Proteínas totales	70 – 80 g/L	7 – 8 g/dL
Albúmina	30 – 38 g/L	3 – 3,8 g/dL
α-globulina	9 g/L	0,9 g/dL
β-globulina	12 g/L	1,2 g/dL
δ-globulina	22 g/L	2,2 g/dL
Hemoglobina	11 – 14 g/dL	11 – 14 g/dL
Hematocrito	32 ± 4 %	32 ± 4 %
Aminoácidos	50 – 60 µg/mL	50 – 60 µg/mL
Urea sanguínea	2,49 – 5,478 mmol/L	15 – 33 mg/dL

Fuente: modificado de Álvarez (2001).

Urea: Los rumiantes, gracias a los microorganismos presentes en el rumen (principalmente bacterias), ocupan una posición nutricional única y ventajosa; a partir de sustancias de baja calidad o fuentes no proteicas, estas bacterias ruminales pueden sintetizar proteínas de alto valor biológico que pasan al abomaso y al intestino delgado para ser digeridas y aprovechadas por el bovino. El nitrógeno (N) es reciclado continuamente hacia el rumen desde la sangre; del 23 al 92% de la urea del plasma sanguíneo se recicla hacia el aparato digestivo (Owens y Zinn, 1993). El objetivo fundamental del ciclo de la urea es transformar el amoníaco producido en el rumen en urea, lo cual constituye un importante proceso de destoxificación para el organismo (Álvarez, 2001).

La urea es sintetizada en el hígado a partir de varios aminoácidos (ornitina, citrulina, arginina, ácido glutámico y ácido aspártico), pasa al rumen

vía sanguínea (por difusión a través de la pared ruminal) y vía salival, donde es hidrolizada por la acción de la ureasa bacteriana del estrato córneo y/o del contenido ruminal, produciendo grandes cantidades de amoníaco, el cual difunde a la sangre o es utilizado para la síntesis de aminoácidos, ambos llegan al hígado y son transformados en urea para reiniciar el ciclo (Herdt, 2000; Kida, 2002).

Los niveles de urea en sangre, están influenciados por factores como: consumo de proteína o nitrógeno no proteico en la dieta, catabolismo tisular (producto de ayuno prolongado) y niveles de energía en la dieta, este último por la estrecha relación que existe entre ambos metabolismos (proteico-energético).

En los vacunos, aproximadamente entre un 50 a 80% de la proteína del forraje consumido se degrada en el rumen hasta amoníaco y éste se convierte en proteína microbiana. La velocidad y eficiencia del proceso está condicionada, entre otros factores, por la cantidad de energía que requieren las bacterias y que obtienen de la fermentación de los carbohidratos, lo cual aporta los esqueletos carbonados necesarios para la síntesis de aminoácidos bacterianos (Owens y Zinn, 1993). Por lo tanto, para la interpretación de la concentración sanguínea de urea en la evaluación de un perfil metabólico, es necesario tomar en cuenta los distintos factores mencionados que influyen sobre la variabilidad de los niveles de este indicador.

Aminoácidos: Las concentraciones de aminoácidos en la sangre resultan extremadamente bajas, con un tiempo de vida media muy corto; esto, unido a las altas exigencias tecnológicas del laboratorio, limita la posibilidad de determinarlas en las indagaciones nutricionales y metabólicas relacionadas con las proteínas (Álvarez, 2001).

Proteínas plasmáticas: Las proteínas de la sangre tienen una extraordinaria importancia en la evaluación del metabolismo proteico. Entre las proteínas plasmáticas, los indicadores que se toman en consideración para el análisis de perfiles metabólicos se encuentran: la albúmina, las globulinas y la hemoglobina.

Albúmina: Constituye una fracción importante de las proteínas del suero sanguíneo. Está relacionada con el poder coloidosmótico y la capacidad amortiguadora de la sangre, así como el transporte de sustancias. Se sintetiza en el hepatocito a partir de aminoácidos por lo que la hipoalbuminemia puede resultar, no solo de la deficiencia de proteínas, sino también de la disfunción del hígado, como ocurre en la degeneración o los cambios grasos de este órgano; situaciones muy frecuentes al inicio de la lactancia, en especial en vacas lecheras (Herdt, 2000).

La albúmina sérica se cataboliza lentamente; solo fallas persistente en el aporte proteico de la dieta o alteraciones hepáticas, ocasionan un desbalances entre el nivel de síntesis y el catabolismo, que se manifiesta en una baja de los niveles sanguíneos de esta proteína (Álvarez, 2001).

Globulinas: Constituyen una fracción muy compleja de las proteínas del plasma sanguíneo; incluyen las llamadas alfa, beta y gamma globulinas. Carecen de significado como indicadores del estado nutricional. En cambio, están muy relacionadas con los procesos inmunológicos y, por tanto, tienen un gran valor clínico como elementos de predicción de diferentes procesos patológicos (Álvarez, 2001). Es por esto, que un cuadro de hiperglobulinemia se asocia con una respuesta humoral reciente debido a infecciones o vacunación, mientras que una hipoglobulinemia puede indicar una baja respuesta o un deficiente cuadro inmunológico.

Hemoglobina y hematocrito: La hemoglobina es una molécula compleja, que resulta de la unión del núcleo hemo a la fracción proteica globina. Es una proteína estructural relacionada con los eritrocitos, que realiza dos funciones biológicas principales: el transporte de oxígeno del aparato respiratorio a los tejidos periféricos y del CO₂ y los protones, desde los tejidos periféricos, hasta el árbol respiratorio para ser eliminados. Los valores de hemoglobina están asociados al consumo de proteínas, aunque los cambios que se deriven en uno, por efecto de otro, se producen generalmente de forma lenta. Así, cuando existe deficiencia de proteínas, disminuye la concentración de hemoglobina y el resultado es un cuadro de anemia.

Otros factores que interactúan en la desnutrición también pueden producir esta alteración, en especial la deficiencia de hierro, cobre y cobalto,

ya que éstos son indispensables para la síntesis de hemoglobina (Álvarez, 2001).

La incorporación de la hemoglobina y el hematocrito en la evaluación nutricional, se debe a las interrelaciones que establecen con la mayoría de los metabolitos convencionales, cuyas necesidades metabólicas exigen un nivel óptimo de células rojas. El hematocrito nos informa, de manera rápida, la cantidad relativa de glóbulos rojos con respecto al resto de los elementos celulares y las características del plasma sanguíneo (Álvarez, 2001).

Metabolitos asociados al metabolismo energético del rumiante: Los indicadores hematoquímicos que generalmente se asocian al metabolismo energético del bovino, están representados por la glucosa y los lípidos (Cuadro, 2). Dentro de los lípidos, tienen especial importancia los triglicéridos, fosfolípidos, esteroides, lipoproteínas y, como metabolitos asociados, los cuerpos cetónicos (Álvarez, 2001).

Glucosa: Un mínimo de glucosa es requerido por todos los tejidos del organismo y es imprescindible, como principal fuente de energía, para el cerebro, eritrocitos, epitelio germinativo de las gónadas, retina y glándula mamaria. La principal ruta para el metabolismo de la glucosa y de otros monosacáridos (fructosa y galactosa), derivados de los alimentos, es la glicólisis, cuya función es la de producir ATP; la glicólisis es realizada por todas las células del organismo en condiciones de aerobiosis o anaerobiosis, dependiendo sea el caso y las propiedades del tejido.

El rumiante posee algunas particularidades metabólicas que lo hace susceptible a déficit de glucosa. La presencia de un pre-estómago con abundantes microorganismos le confiere la capacidad de emplear la celulosa, pero le es adversa para la utilización de la glucosa (Álvarez, 2001). La acción de los microorganismos ruminales transforma en ácidos grasos volátiles (AGV) los carbohidratos ingeridos en la dieta, por lo que la glucosa es pobremente absorbida en el sistema digestivo.

El AGV que se produce mayoritariamente es el ácido acético (alrededor de un 70%), el propiónico se produce cerca de un 20% y el butírico en un 10%, aunque este patrón puede variar según la dieta que ingieran los animales (Álvarez, 2001).

Cuadro 2. Principales metabolitos asociados al metabolismo energético del rumiante.

Indicador	Valor de referencia	
	Unidades Internacionales	Unidades Tradicionales
Glucosa	2,2 – 4,4 mmol/L	39,64 – 79,28 mg/dL
Lípidos totales	1,33 – 3,44 g/L	0,133 – 3,44 g/dL
Cuerpos cetónicos	<10mg/dL	< 10 mg/dL
β-Hidroxibutirato	< 1,0 mmol/L	< 1,0 mmol/L
Ácidos Grasos Libres	< 80 mmol/L	< 80 mmol/L
Triglicéridos	0,228 ± 0,09 mmol/L	20,17 ± 8 mg/dL
Fosfolípidos	2,12 ± 0,66 g/L	0,212 ± 0,06 g/dL
Colesterol	4,18 ± 1,43 mmol/L	161,76 ± 55,34 mg/dL

Fuente: modificado de Álvarez (2001).

Los rumiantes deben cubrir sus necesidades energéticas a partir de estos AGV, ya que los lípidos juegan un papel secundario en esta especie. El ácido propiónico es el único que tiene la capacidad de formar glucosa a través de la síntesis de *novo* por medio de la gluconeogénesis hepática (Kida, 2002). Los niveles sanguíneos de glucosa y de ácidos grasos no esterificados (AGNE) o ácidos grasos libres (AGL) están asociados con la utilización de la energía e influenciados grandemente por las hormonas, principalmente la insulina y el glucagón (Álvarez, 2001).

Uno de los principales inconvenientes con el uso de la glucosa en sangre, como un estimador nutricional, es el efecto postprandial, lo cual introduce una fuente de variabilidad no asociada con la dieta. En los rumiantes, a diferencia de los monogástricos, la concentración de glucosa postprandial usualmente disminuye, debido a que los ácidos grasos volátiles generan una onda de insulina que reduce la escasa glucosa absorbida desde el tracto digestivo (Herdt, 2000). Frente a esta limitación se ha propuesto (Jensen *et al.*, 1993) el uso de la fructosamina como un indicador más sensible del estado de energía y carbohidratos que la glucosa, porque remueve la variabilidad asociada con las fluctuaciones postprandiales.

Fructosamina: Es una proteína glicosilada, que se forma por enlace covalente de la glucosa con residuos de lisina de las proteínas sanguíneas (principalmente albúmina), dando lugar a bases de Schiff, que en una segunda etapa son transformadas irreversiblemente en cetoaminas (fructosaminas). Esta reacción es dependiente de la concentración de

glucosa sanguínea y del tiempo de interacción con las proteínas. Las fructosaminas permanecen en sangre actuando como “memoria glicémica”, hasta ser metabolizadas de manera análoga a las demás proteínas del suero. Como consecuencia, la concentración de fructosamina representa en forma retrospectiva, un índice de la media de las fluctuaciones de las concentraciones de glucosa sanguínea, dos a tres semanas previas de la realización del análisis (Kaneko *et al.*, 1997).

Lípidos: Los lípidos son los compuestos de mayor rendimiento calórico y su función más significativa es la de servir como reserva energética para el organismo (Byers y Schelling, 1993). Los lípidos son de una gran heterogeneidad estructural. Los principales tipos presentes en el organismo son: los ácidos grasos, los glicéridos (triglicéridos), los fosfolípidos, los esteroides y las lipoproteínas, siendo el colesterol uno de los esteroides más conocidos, y es el precursor de las hormonas esteroideas (Byers y Schelling, 1993). Sin embargo, principalmente la lipemia total está determinada, por las concentraciones plasmáticas de los triglicéridos (grasas neutras), los fosfolípidos y el colesterol.

En el caso de existir un déficit de carbohidratos, debido a un aporte insuficiente o por exceso en la demanda, se produce una respuesta lipolítica en el organismo, por la cual pasan a la sangre grandes cantidades de lípidos en forma de ácidos grasos libres (AGL) que son utilizados como fuente de energía (Álvarez, 2001), características que se observan durante el inicio de

la lactancia; por lo tanto, el estudio de los AGL es de importancia por cuanto reflejan la movilización de las reservas energéticas.

El incremento en el perfil lipídico durante el inicio de la lactancia puede estar relacionado con el esfuerzo fisiológico estresante del inicio de la lactancia, el desbalance energético que la caracteriza y la recuperación posparto, que requiere una mayor demanda energética para sostenerla; así como, para la formación de hormonas de naturaleza lipídica de este crítico período fisiológico (Ramírez *et al.*, 2001).

Colesterol: es el principal representante de los esteroides en el organismo, y se le considera esencial por las importantes funciones que realiza: precursor de las hormonas esteroideas y de los ácidos biliares, además de ser elemento estructural de las lipoproteínas (Álvarez, 2001).

Triglicéridos: los triglicéridos son ésteres de los ácidos grasos con la glicerina. Son los principales componentes de los depósitos en el tejido adiposo y predominan en la grasa de la leche.

β -hidroxibutirato: los cuerpos cetónicos se originan de tres metabolitos interrelacionados: el ácido acetoacético, el ácido β -hidroxibutírico y la acetona. El hígado es el principal tejido cetogénico, pero en el rumiante el epitelio ruminal también es capaz de producir cuerpos cetónicos a partir de los AGV. El butirato tiene el primer lugar en cetogenicidad y el acetato el segundo, mientras que el propionato no es cetogénico. Hoy en día se le confiere gran importancia a la medición del β -hidroxibutirato para definir el

consumo energético de la vaca, particularmente durante el puerperio (Álvarez, 2001).

Concentraciones altas de β -hidroxibutirato en sangre, pueden referir a niveles de alimentación insuficientes para suplir los requerimientos del animal; también pueden reflejar un alto consumo de concentrados con relación inadecuada con respecto a los alimentos voluminosos (relación de 3:1, concentrado:fibra), lo que determina una menor utilización de la energía. Otras situaciones que determinan el incremento de β -hidroxibutirato pueden ser: cuando se limita el consumo de forraje debido a una alta densidad de animales por hectárea; cuando existen problemas con la calidad y palatabilidad del forraje, especialmente en consumo de ensilaje, lo que determina una menor cantidad de fibra en el rumen; cuando hay exceso de proteína no degradable o mucha proteína degradable que limita o demanda grandes cantidades de energía; y cuando el aporte de agua es insuficiente (Álvarez, 2001).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Investigación

La investigación se efectuó en la Estación Experimental “La Antonia” (EEA), perteneciente a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UCV, ubicada en la región Centro–Occidental de Venezuela, Municipio Marín, Estado Yaracuy. Su ubicación geográfica es a 10°22′ 28″ Latitud Norte y 68° 40′45″ Longitud Oeste, a una altura de 122 msnm (Ramírez, 2002).

La EEA se encuentra en la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical, cuyas características climáticas son: evaporación anual promedio de 1754,3 mm; con un máximo entre los meses de enero a mayo, coincidente con la menor precipitación, característica de un clima cálido (Ramírez, 2002).

La precipitación promedio anual es de 1480,02 mm, representada por dos picos de precipitación, que ocurren entre abril a octubre y noviembre a diciembre, 79,8% y 15%, respectivamente, lo cual coincide con el periodo de mayor humedad. Entre los meses de enero a marzo se registran los valores más bajos (<33mm) representando el 5,1% de la precipitación total anual, lo que permite identificar dos épocas. La época seca, comprendida entre los meses de enero a mayo y la época de lluvia, entre los meses de junio a diciembre (Ramírez, 2002).

La temperatura anual promedio es de 24°C, con valores promedios máximos de 31,2°C en el mes de octubre y mínima inferior a 20°C entre diciembre y febrero (Ramírez, 2002).

Unidades Experimentales

Se utilizaron 23 vacas mestizas (Holstein x Brahman), con alta proporción de Holstein; con edades que oscilan entre 3 y 9 años; y con una distribución entre 1 y 6 partos. La alimentación basal de las vacas fue el pastoreo rotacional, de pastos cultivados (*Panicum maximun*, *Cynodon nlemfuensis*). En cada ordeño, se les suministró 1Kg de alimento concentrado comercial a las vacas que producían menos de 8L/d (vacas de baja producción), 2Kg a las vacas de 8 a 15L/d (mediana producción) y 3Kg de alimento a las vacas con más de 15L/d (alta producción).

Cuadro 3. Valores promedios de la composición bromatológica del pasto y alimento concentrado ofrecido a las vacas durante el estudio.

Muestra	PC	EE	FC	Cen.	FDN	FDA	ELN	NDT	ED
	% MS								Mcal/Kg
Pasto	6,07	2,59	50,31	8,78	78,42	49,48	24,39	51,33	2,26
Concen.	22,79	4,29	14,37	12,06	-	-	38,99	56,47	2,48

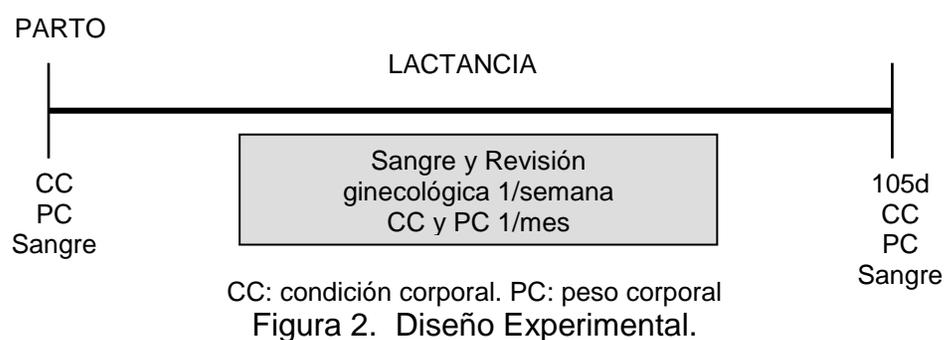
MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; FC: fibra cruda; Cen: ceniza; FDN: Fibra detergente neutra; FDA: Fibra detergente ácida; ELN: extracto libre de nitrógeno; NDT: nutrientes digestibles totales; ED: energía digestible. Valores obtenidos y calculados en base al 100% de MS.

La suplementación mineral fue *ad libitum*. Se realizó un análisis bromatológico al pasto y al alimento concentrado, utilizado en la alimentación de las vacas, en el laboratorio de nutrición animal de la Facultad de

Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (Cuadro 3), usando el método de análisis proximal de Weende y para la obtención de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) en el pasto, el método de Van Soest (AOAC, 1990). En el cálculo de los nutrientes digestibles totales (NDT) y energía digestible (ED) se empleó la metodología descrita por la NRC (1989). En el cálculo del NDT de los pastos introducidos, se utilizaron los valores de digestibilidad reportados por Arriojas y Chacón (1989).

Diseño Experimental

La investigación se realizó durante los primeros 105d de lactancia (Figura 2). Los partos de las 23 vacas ocurrieron entre el 15 de Noviembre y el 15 de Diciembre de 2008.



Las vacas se ordeñaron dos veces al día. Una vez a la semana se registró la producción diaria de leche por vaca, comenzando desde la primera semana hasta la décima quinta semana postparto. Se obtuvo la producción

de leche acumulada por vaca, sumando la producción semanal, la cual es el resultado del producto de la producción diaria por los 7d de la semana.

Condición corporal: la condición corporal (CC) se tomó en cuatro diferentes momentos durante el postparto: al parto (semana 1 de muestreo), a los 30d (semana 5 de muestreo); 60d (semana 9 de muestreo); y 90d de lactancia (semana 13 de muestreo), utilizando la metodología descrita por Ferguson *et al.* (1994), quienes utilizan una escala del 1 al 5, en la cual 1 es emaciada y 5 es obesa. Los cambios en la CC se obtuvieron por diferencia entre la CC obtenida al parto (semana 1) y las medidas en las semanas mencionadas (5, 9 y 13 semanas de muestreo).

Peso corporal: El peso de los animales se obtuvo mediante una romana electrónica (Trutest® 200E0). Al igual que la CC, las medidas de peso corporal (PC), se obtuvieron en cuatro momentos: al parto (semana 1 de muestreo), a los 30d (semana 5 de muestreo); 60d (semana 9 de muestreo); y 90d de lactancia (semana 13 de muestreo). Los cambios en el PC se obtuvieron por diferencia entre el PC obtenido al parto (semana 1) y las medidas en las semanas mencionadas (5, 9 y 13 semanas de muestreo).

Muestras de sangre: Una vez a la semana y durante las 15 semanas de estudio, se tomaron muestras de sangre de los vasos coccígeos, a las 08:00h, posterior al ordeño, con el objeto de minimizar el efecto de la ingestión de alimentos y las variaciones diurnas que se presentan para β -hidroxibutirato y urea (Álvarez, 2001), utilizando agujas (BD Vacutainer®) y

tubos al vacío con EDTA y sin anticoagulante.

Los tubos con EDTA se emplearon para las muestras de sangre destinadas a hematología. Los tubos sin anticoagulante, se destinaron, para la determinación de metabolitos. En este caso, las muestras fueron centrifugadas a 1500g por 15min para la obtención del suero. Posteriormente, se colocaron en baño de agua y hielo hasta su traslado al Laboratorio de Patología Clínica de la FCV-UCV, donde se almacenaron a – 20 °C, hasta su procesamiento.

Métodos de Cuantificación de Metabolitos

Colorimetría: Se agrupan bajo el nombre de “métodos fotométricos”, las técnicas analíticas basadas en la medición de la radiación electromagnética absorbida, reflejada o emitida por una sustancia dispersa o disuelta en una solución. Para efectos cuantitativos, se basa en la aplicación de la Ley de Lambert-Beer, ley que establece básicamente una proporción lineal entre la magnitud de la absorción y la concentración de la sustancia absorbente.

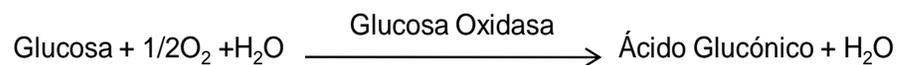
Se aplican dos conceptos importantes en esta técnica: transmitancia, que es el cociente entre la intensidad de luz emergente y la intensidad de la luz incidente; y la absorbancia, que es el grado de absorción que posee la sustancia, lo cual depende de la concentración de la sustancia absorbente (Ringbom, 1979).

Proteínas plasmáticas totales: La cuantificación de proteínas se realiza a través de refractometría; colocando 1mL de sangre, del capilar centrifugado, en el refractómetro. Una vez que se ha cuantificado el valor de proteínas plasmáticas totales y el valor de la cantidad de albúmina presente en la muestra, se procede a determinar la cantidad de globulinas, a través de la diferencia entre las dos últimas.

Albúmina: Se determina a través del método denominado verde bromocresol, cuyo fundamento se basa en la reacción de la albúmina sérica con el verde de bromocresol para formar un complejo coloreado que se mide en un espectrofotómetro, siendo el color proporcional a la cantidad de albúmina presente en la muestra (Rodkey, 1964).

Urea: Se determina a través del método denominado ureasa Berthelot. La urea presente en la muestra, es disociada por la acción de la ureasa, produciéndose amoníaco y dióxido de carbono. No se conoce ningún compuesto normalmente presente en el organismo que sea atacado por la enzima; en consecuencia, la utilización de la ureasa confiere al método una elevada especificidad. El amoníaco liberado se determina utilizando la reacción de Berthelot que produce un color azul verdoso, cuya densidad se mide en el espectrofotómetro y es proporcional a la concentración de urea en la muestra (Rodkey, 1964).

Glucosa: Se realiza a través del método enzimático-espectrofotométrico, con la acción de las enzimas glucosa oxidasa y peroxidasa. El método se fundamenta en lo siguiente: la glucosa presente en la muestra, reacciona con las enzimas y origina, según las reacciones bioquímicas acopladas descritas a continuación, un complejo coloreado que se cuantifica por espectrofotometría (Young, 1990):



Fructosamina: Se determina a través del método colorimétrico *nitroblue* tetrazolio (NBT). El método se basa en la propiedad del grupo cetoamino de las proteínas glicosiladas (fructosamina) de reducir la sal de tetrazolio (NBT) en medio alcalino, a formazán, el cual se mide colorimétricamente. La velocidad de formación del formazán es directamente proporcional a la concentración de fructosamina presente en la muestra (Young, 1990).

Colesterol: Se realiza a través del método enzimático-espectrofotométrico, con la acción de las enzimas colesterol oxidasa y peroxidasa. El método se fundamenta en lo siguiente: tanto el colesterol libre como el esterificado, presentes en la muestra originan un complejo coloreado que se cuantifica por espectrofotometría (Allain *et al.*, 1974).

Triglicéridos: Se determina a través de un método colorimétrico cuantitativo enzimático. El fundamento se basa en el desdoblamiento inicial

de los triglicéridos a través de la acción de la lipasa hasta la formación de quinonaimina, que se cuantifica por espectrofotometría (Young, 1990).

β -Hidroxiacetato: Se determina a través de un método colorimétrico cuantitativo enzimático. El método se basa en la oxidación del β -hidroxiacetato por efectos enzimáticos; concomitantemente con la oxidación, el cofactor NAD es reducido a NADH y los cambios asociados a la absorbancia son directamente correlacionados a la concentración del β -hidroxiacetato (Young, 1990).

Las variables determinadas, los métodos de laboratorio y las unidades en que se describen los resultados se resumen en el Cuadro 4. Para las determinaciones de los metabolitos energéticos se emplearon *kits* de reactivos comerciales *Labtest Diagnostica S.A.* Para la determinación de indicadores del metabolismo proteico se utilizaron *kits* de Inverlab S.A. La concentración de globulinas se determinó por diferencia de las proteínas totales menos la concentración de albúmina.

La determinación de glucosa se realizó a campo mediante el uso del glucómetro portátil PRESTIGGE®. Una vez que se colectaba la muestra de sangre, inmediatamente se colocaba una gota en la cinta de medición y se realizaba la lectura.

Cuadro 4. Variables evaluadas, unidades de medida y métodos de laboratorio utilizados en la determinación de los indicadores metabólicos.

Variable	Unidades	Método	Referencia
Proteínas totales (PT)	g/dL	Refractometría	Rodkey(1964)
Albúmina (Alb)	g/dL	Verde bromocresol	Rodkey(1964)
Globulina	g/dL	Diferencia (PT-Alb)	Rodkey(1964)
Urea	mg/dL	Ureasa Berthelot	Rodkey(1964)
Glucosa	mg/dL	Glucómetro portátil	
Fructosamina	mmol/L	Colorimétrico NBT	Young(1990)
Colesterol	mg/dL		Allain <i>et al.</i> (1974)
Triglicéridos	mg/dL	Enzimático-espectrofotométrico	Young(1990)
β-Hidroxibutirato	mmol/L		Young(1990)

Comportamiento reproductivo: Se efectuó una evaluación ginecológica semanal (palpación transrectal), desde la primera semana hasta la 15 semana postparto, empleando la metodología descrita por Ostrowski *et al.* (1979), para determinar la presencia de estructuras en los ovarios (folículos y cuerpos lúteos) y descartar posibles alteraciones patológicas del tracto reproductivo. El comportamiento reproductivo se midió por medio del intervalo parto–primer cuerpo lúteo, el cual se determinó por los días desde el parto hasta detectarse, a través de la palpación transrectal, el primer CL.

Análisis Estadístico

Cambios en la condición corporal y peso corporal: Para la evaluación de los cambios en la condición y peso corporal se utilizó un análisis de varianza, usando el procedimiento Modelo Lineal Generalizado del Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 2001). El modelo incluyó los efectos de:

semana postparto (1, 5, 9 y 13 semana), número de partos (1, 2, 3, 4, 5 y 6 partos) y nivel de producción de leche (alta, media y baja) como variable discreta. Las vacas de alta son aquellas con una producción acumulada mayor a 1575L a los 105d de lactancia ($>15\text{L/d}$ en promedio), las de media con una producción acumulada entre 840 y 1575L (8 a 15L/d promedio), y por último, las de baja producción con menos de 840L de producción acumulada a los 105d ($<8\text{L/d}$ en promedio).

Indicadores del perfil metabólico: Para el análisis de los diferentes indicadores del perfil metabólico (perfil proteico: proteínas totales, albúmina, globulina y urea; perfil energético: glucosa, fructosamina, triglicéridos, colesterol y β -hidroxibutirato) se utilizó un análisis de varianza usando el Método Lineal Generalizado del Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 2001). El modelo estadístico usado incluyó los efectos de las semanas postparto (1,..... 15 semana), número de partos (1, 2, 3, 4, 5 y 6 partos), peso corporal al parto (PCP) y el nivel de producción de leche, dividiendo las vacas en grupos de alta, media y baja producción, como se explicó anteriormente.

En la determinación de estos indicadores bioquímicos siempre se obtienen valores que se consideran normales y patológicos. Estos últimos se consideran patológicos de acuerdo a valores de referencia o a los promedios del grupo en estudio (Álvarez, 2001). Si bien los valores patológicos son los que nos interesan desde el punto de vista clínico, en este caso, interfieren en el análisis estadístico, aumentando el coeficiente de variación.

Para el análisis estadístico de los indicadores del perfil metabólico solo se utilizaron los valores normales; para ello, se utilizó la fórmula de Álvarez (2001) para determinar el rango normal de los datos, el cual abarca los valores situados entre el promedio ± 2 desviaciones estándar; dentro de este rango se encuentra el 95% de los valores de una población clínicamente sana.

Perfil metabólico: Para el análisis del perfil metabólico y su adecuada interpretación, se utilizó la determinación del estadístico H (Alvarez, 2001; Witter, 2000b). En este sentido, según Wittwer (2000a), las variables bioquímicas a utilizar son: urea y proteínas totales, como indicadores del metabolismo proteico; y, β -hidroxibutirato, que junto a la condición corporal representan el metabolismo energético. Para este análisis también se utilizó los niveles de glucosa como indicador del metabolismo energético y la producción de leche. Para obtener el valor de H se utilizó la siguiente fórmula:

$$H = \frac{\text{media del indicador el día de evaluación} - \text{media del indicador general}}{\text{desviación estándar general}}$$

Considerándose un valor de H aceptable hasta ± 2 desviaciones estándar.

En resumen, esta fórmula compara a las vacas en estudio con datos de referencia en un tiempo determinado. En nuestras condiciones, es difícil encontrar datos precisos de referencia que se correspondan en cuanto a: tipo de animales utilizados en el estudio, semanas de lactancia y metabolitos

empleados, por lo que dificulta la comparación. Por lo tanto, para el análisis del estadístico H de esta investigación, se realizó la comparación de las vacas con el promedio del grupo en estudio.

Se comenzó por determinar las semanas de lactancia a utilizar, las cuales fueron las semanas 1, 5, 9 y 13, ya que coincidían con las semanas de determinación de la CC. Posteriormente, se obtuvieron los promedios y desviación estándar del grupo de vacas en estudio, por cada semana antes mencionada. Para el valor de H, Wittwer (2000b), compara los valores de cada vaca con los valores de referencia, esto debido a que utiliza grupos pequeños de vacas. En nuestro caso se utilizaron 23 animales, por lo que se formaron sub-grupos de acuerdo a la producción de leche, en vacas de baja producción (<8L), media producción (8–15L) y alta producción (>15L), para ser comparadas con el grupo en estudio (n= 23 vacas). Se realizaron comparaciones de cada sub-grupo de acuerdo a las semanas de lactancia.

Comportamiento reproductivo: el intervalo parto-primer cuerpo lúteo (CL) fue el indicador utilizado para medir el comportamiento reproductivo. Los datos fueron analizados a través de un análisis de varianza, usando el procedimiento Modelo Lineal Generalizado del Sistema de Análisis Estadístico (SAS, 2001). El modelo incluyó los efectos de número de partos (1, 2, 3, 4, 5 y 6 partos) y nivel de producción de leche (alta, media y baja) como variable discreta.

Perfil metabólico y comportamiento reproductivo: para establecer si existía relación entre los indicadores del perfil metabólico y el comportamiento reproductivo, se realizó un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión *Stepwise* (SAS, 2001). Para estos análisis, se utilizaron los niveles acumulados, hasta los 30d por cada vaca, de los diferentes indicadores del perfil metabólico, y se correlacionaron con el intervalo parto-primer CL, también de cada vaca. Entre los indicadores del perfil metabólico, se utilizaron proteínas totales, albúmina, globulina y urea, como indicadores proteicos; y glucosa, colesterol y β -hidroxibutirato como indicadores del perfil energético.

Para obtener el valor acumulado a los 30d, de cada uno de los indicadores del perfil metabólico, se realizó la sumatoria del valor obtenido cada día de muestreo hasta el día 30, para cada vaca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Leche

La producción de leche diaria promedio por vaca fue de 12,35L, similar a lo reportado por Ramírez *et al.* (2001), en ganado Carora y a los 11,6L/d reportado en vacas mestizas primíparas, por Ramírez *et al.* (1996). En la Figura 3, se muestra la producción diaria promedio, por subgrupo de vacas, durante los 105d de estudio (15 semanas).

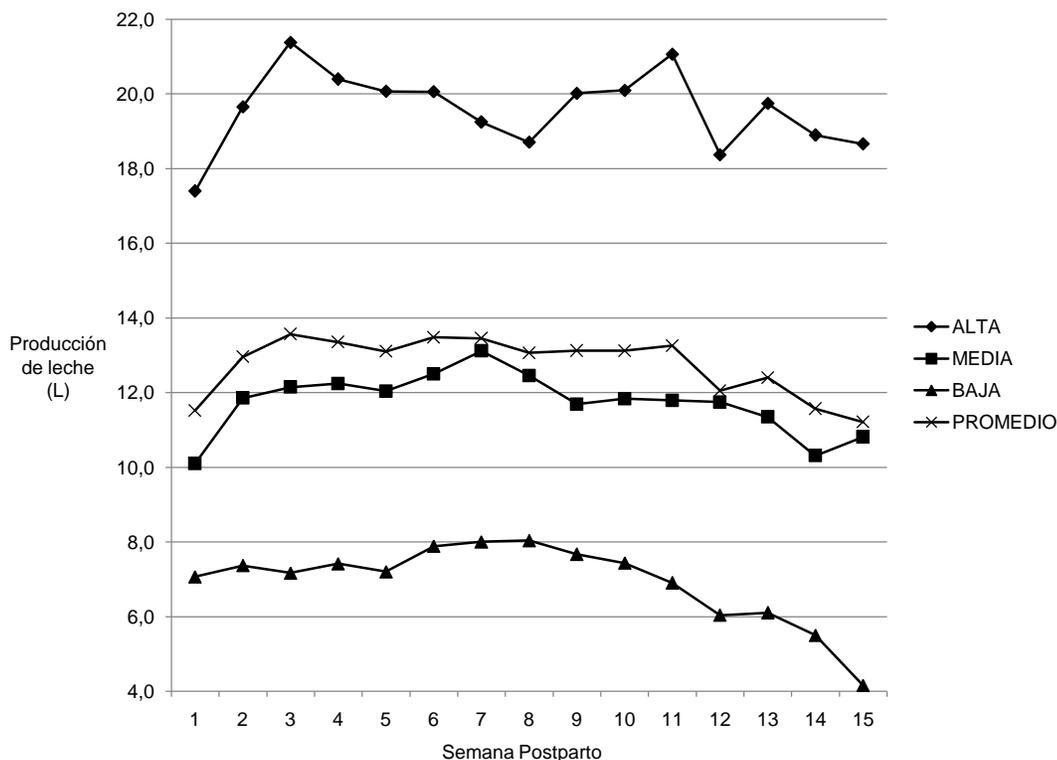


Figura 3. Producción diaria de leche de vacas Doble Propósito de alta (>15L), media (8-15L) y baja (<8L) producción durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

La producción de leche acumulada hasta los 105d fue de 1469,2L; siendo los valores por subgrupo de 2082,3L, 1219,8L y 1105,7L para las vacas de alta, media y baja producción respectivamente.

Cambios de Condición Corporal

El cambio de la CC estuvo afectado por la semana postparto ($p < 0,01$); luego de transcurridas las cinco primeras semanas de lactancia, la CC fue ligeramente menor (CC=2,8) a la CC de la primera semana (CC=3; Figura 4).

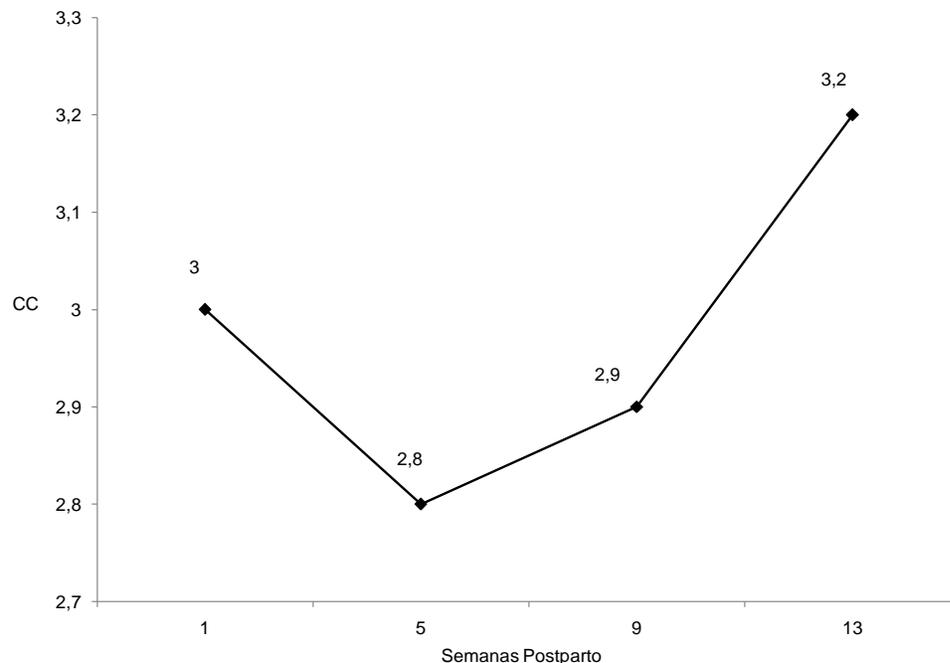


Figura 4. Cambios en la condición corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Durante las siguientes semanas las vacas se recuperaron muy lentamente, de la quinta a la novena semana (CC=2,9), sin llegar a la CC que tenían al parto, para posteriormente, de la semana nueve a la trece, observar una recuperación marcada de la CC, hasta un poco por encima del promedio

de la CC al parto (CC=3,2; Figura 4). Estos cambios negativos de la CC durante el primer mes de lactancia y la posterior recuperación, han sido reportados por diferentes autores en vacas doble-propósito (Ramírez *et al.*, 1996; Rojas *et al.*, 1998), y se deben a la utilización de las reservas corporales, acumuladas en forma de tejido adiposo durante el preparto.

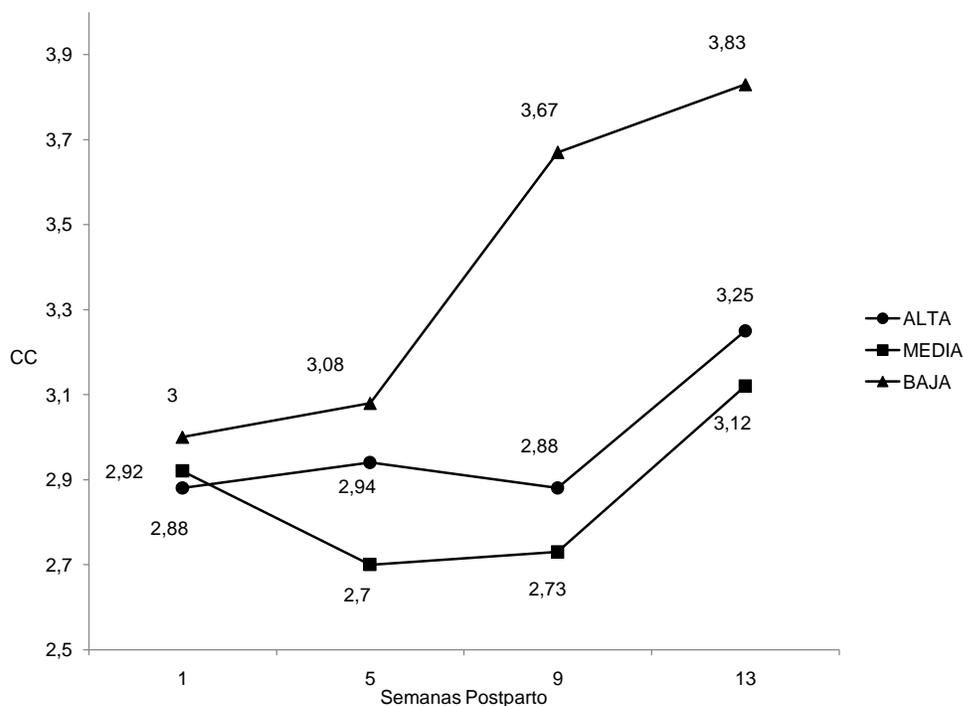


Figura 5. Cambios en la condición corporal de vacas Doble Propósito de acuerdo al nivel de producción de leche durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Sin embargo, el nivel de producción de leche afectó a los cambios de CC ($p < 0,01$). Cuando se diferencian los cambios de CC de acuerdo a la producción de leche (vacas de alta, media y baja producción; Figura 5), se observa que las vacas del grupo de producción media son las que perdieron

CC durante las primeras cinco semanas de lactancia, aumentando la CC posteriormente, a partir de la semana 9.

Se esperaba observar esa pérdida de CC en las vacas de alta producción, pero se puede inferir que las vacas de producción media no estaban recibiendo la suplementación adecuada. En el caso de las vacas de baja producción de leche, ganaron CC durante el postparto, principalmente después de la quinta semana. Por su parte, las vacas de alta producción, mantuvieron la CC durante las primeras cinco semanas, posteriormente la disminuyeron ligeramente, lo que puede atribuirse al aumento de la producción de leche, para finalmente, ganar CC después de la semana nueve, así como lo han reportado Rhodes *et al.* (1996; Figura, 5).

Cambios de Peso Corporal

El cambio del PC se mantuvo negativo durante las ocho primeras semanas de lactancia, para posteriormente aumentar de peso en la semana trece ($p < 0,01$; Figura 6). Al igual que los cambios negativos de CC, se han reportados los cambios de PC en vacas lecheras durante las primeras semanas de lactancia (Gong *et al.*, 2002), como se observó en este trabajo.

Estos cambios, además de la semana postparto, estuvieron afectados por el número de partos ($p < 0,01$), observándose una mayor pérdida de peso corporal para las vacas de 1, 2 y 4 partos (Figura 7).

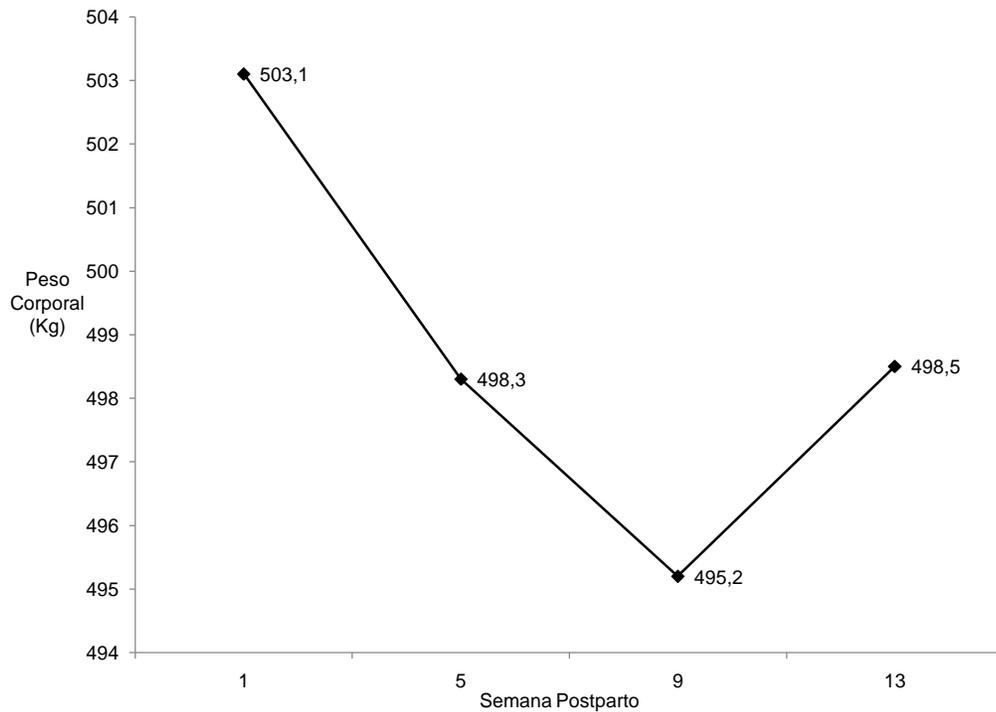


Figura 6. Cambios de peso corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

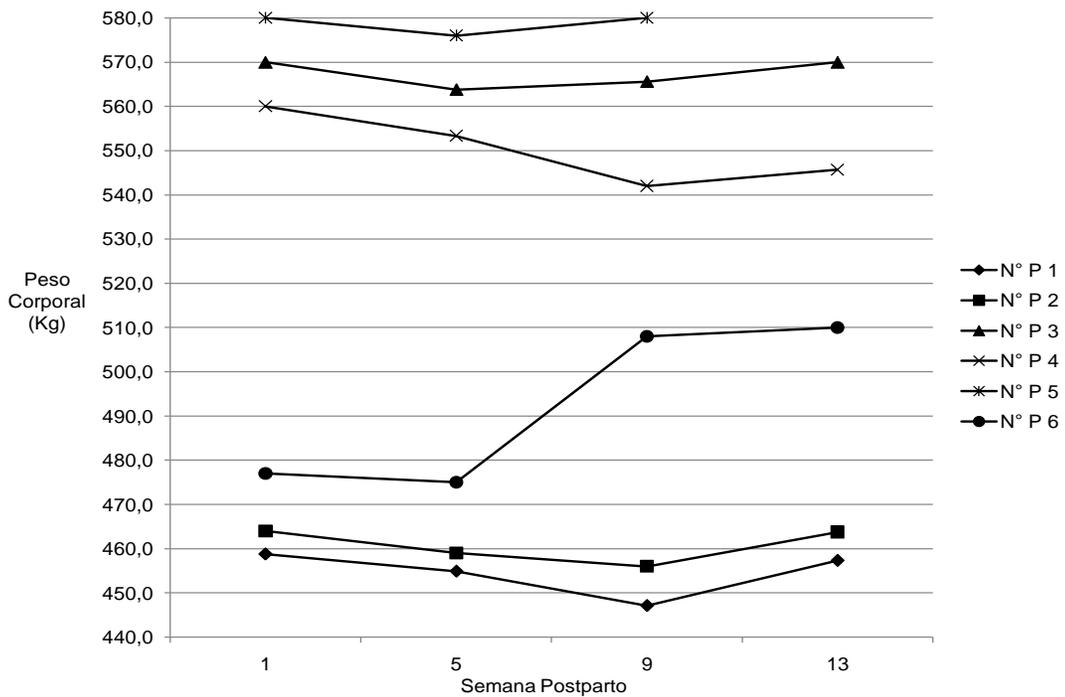


Figura 7. Cambios de peso corporal de vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas) de acuerdo al número de partos.

En el caso de las vacas de primer parto (Figura 7), son animales que tienen los mayores requerimientos y las mayores exigencias fisiológicas, por lo que su prioridad es la de mantenimiento corporal y crecimiento, y no el almacenamiento de energía en tejidos corporales, como reserva de energía (Rojas *et al.*, 1998). En el caso de las vacas de 2 y 4 partos, se puede inferir que la pérdida de peso se debe a que no están recibiendo la suplementación adecuada con alimento concentrado, ya que, en su mayoría, estas vacas son de producción media, las cuales registraron pérdidas de CC significativas, como se explicó anteriormente; sin embargo, las vacas de alta producción, fueron las que perdieron más peso durante los primeros 105 d de lactancia ($p < 0,01$), lo que puede ser atribuido a las exigencias de la misma producción (Gong *et al.*, 2002).

Metabolitos Asociados al Metabolismo Proteico del Rumiante

Proteínas plasmáticas totales: El promedio de los niveles de proteínas plasmáticas totales en sangre durante el estudio fue de $7,5 \pm 0,2$ g/dL, el cual se encuentra dentro de los niveles de referencia (7 a 8g/dL; Álvarez, 2001).

Por otra parte, son resultados similares a los obtenidos por Ceballos *et al.* (2002), en vacas lecheras en el trópico alto de la zona cafetera colombiana. El nivel de las proteínas plasmáticas totales fue afectado por la semana postparto y por el peso corporal al momento del parto ($p < 0,01$), además del número de partos ($p < 0,05$; Figura 8).

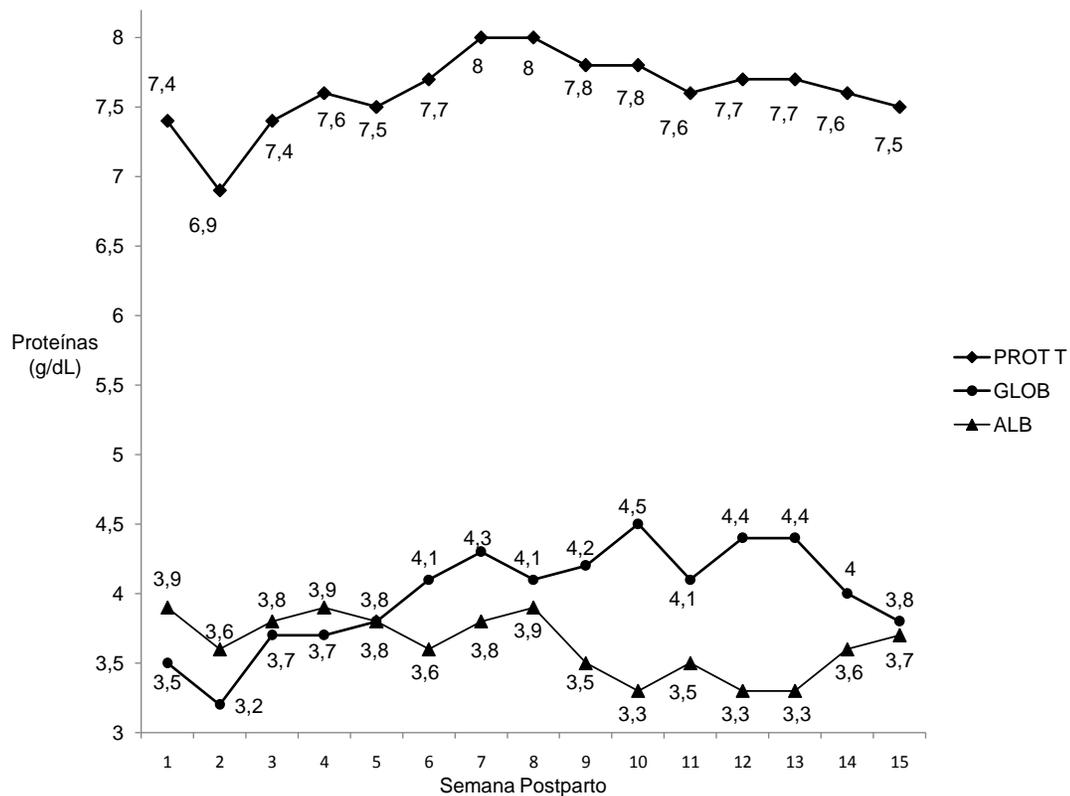


Figura 8. Niveles de albúmina, globulina y proteínas totales en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Durante la semana dos de lactancia se observó una disminución de los niveles de proteínas totales, por debajo del rango normal ($6,9 \pm 0,2 \text{g/dL}$). El resto de las semanas, los niveles de proteínas totales estuvieron cercanos al límite superior de los niveles normales, en especial las semanas siete y ocho de lactancia ($8 \pm 0,1 \text{g/dL}$; Figura, 8). Es importante señalar que el nivel de proteínas totales se debe principalmente a los niveles de globulinas. Según Álvarez (2001), las concentraciones de proteínas totales en sangre de vacas Holstein dependen de los niveles de globulinas, que es la fracción predominante.

Albúmina: El promedio de los niveles de albúmina en sangre durante el estudio fue de $3,7\pm 0,4$ g/dL (valores normales 3 a 3,8g/dL; Figura 8), mayores a los reportados por Rivas (2008), en ganado Holstein en zonas andinas de Venezuela; y superiores a los obtenidos por Ceballos *et al.* (2002). Este valor fue afectado por la semana postparto ($p<0,01$), observándose los niveles más elevados durante la primera, la cuarta y la octava semana. Las concentraciones de albúmina en sangre están estrechamente relacionadas con el consumo de proteínas en la dieta. De acuerdo a Contreras *et al.* (2000), aportes insuficientes de proteína, disminuyen los niveles de albúmina y de hemoglobina en sangre; lo que podría explicar, que las vacas de baja producción fueron las que presentaron mayores niveles de albúmina durante el estudio ($p<0,05$), por lo tanto, permite deducir que el aporte alimenticio en este grupo de vacas está siendo adecuado, ya que, además de esto se suma la ganancia de CC de estas vacas.

Globulina: El promedio de los niveles de globulina en sangre, para todo el grupo de vacas, durante el estudio fue de $3,8\pm 0,6$ g/dL, por debajo del rango normal (valores normales 4 a 4,2g/dL) para este tipo de animales. Estos valores son menores a los obtenidos por Rivas (2008) y por Ceballos *et al.* (2002). De esta forma, se observó una hipoglobulinemia durante las primeras 5 semanas ($p<0,01$; Figura 8), lo que pudiera indicar un estado inmunológico deficiente; mientras que durante las semanas 10, 12 y 13 se

presentó una hiperglobulinemia. Asimismo, los niveles de globulinas se vieron afectados por el peso corporal al momento del parto ($p < 0,01$).

Urea: El peso corporal al momento del parto afectó los niveles de urea en suero ($p < 0,01$), observándose un promedio de $30,8 \pm 6 \text{ mg/dL}$ durante el período en estudio, valor que está dentro del rango normal señalado por Álvarez (2001) de 15 a 33 mg/dL ; sin embargo, se registró una ligera hiperuremia durante las semanas 1, 4 y 5 (Figura 9).

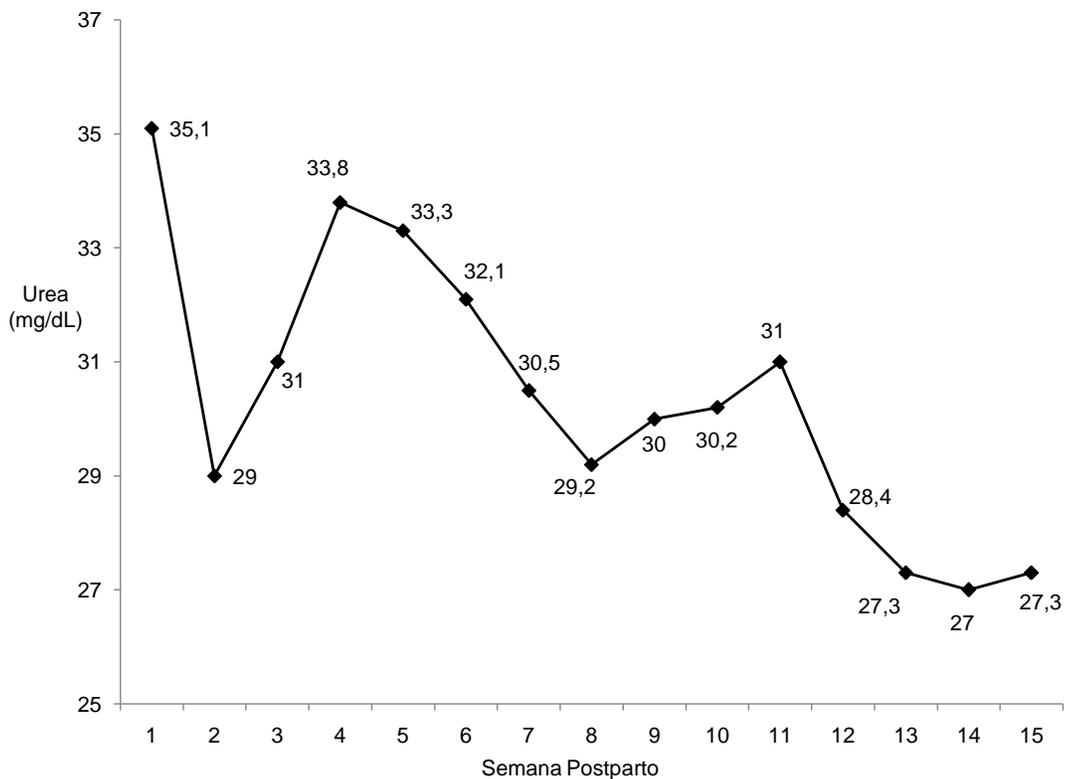


Figura 9. Niveles de urea en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

En general, los niveles obtenidos fueron inferiores a los reportados por Rivas (2008), durante las primeras cinco semanas de lactancia, en vacas Holstein en Los Andes Venezolanos.

Según Álvarez (2001), los niveles elevados de urea en sangre pueden ser debido a factores como: aumento del consumo de proteína, suministro de proteínas fácilmente digestibles, o alto nivel de nitrógeno no proteico, los cuales motivan una mayor absorción de amoniaco en el rumen y por consiguiente aumento de la síntesis de urea en el hígado.

Otro factor está relacionado con el aumento del catabolismo tisular producido por ayunos prolongados, así como la reducción en el consumo de energía, lo que provoca disminución en la síntesis de proteína microbiana y favorece la elevación del pH, con incrementos en la absorción de amoníaco.

Metabolitos Asociados al Metabolismo Energético del Rumiante

Glucosa: el nivel promedio de glucosa durante el estudio fue de $45,9 \pm 8$ mg/dL, menores a los reportados por Ramírez *et al.* (2001), en vacas Carora. Los niveles de glucosa en sangre durante el estudio fueron afectados por la semana postparto ($p < 0,01$).

Durante las primeras 11 semanas de lactancia (Figura 10), los niveles de glucosa en sangre se mantuvieron cercanos al límite inferior del rango normal de 40 a 80 mg/dL (Álvarez, 2001). Inclusive, en la semana cuatro se observó un estado de hipoglicemia ($38 \pm 1,9$ mg/dL); siendo esto un indicio, o al menos una de las características del BEN (Hawkins *et al.*, 1995). Posteriormente, entre las semanas 12 a 15 se observó un aumento progresivo de los niveles de glicemia.

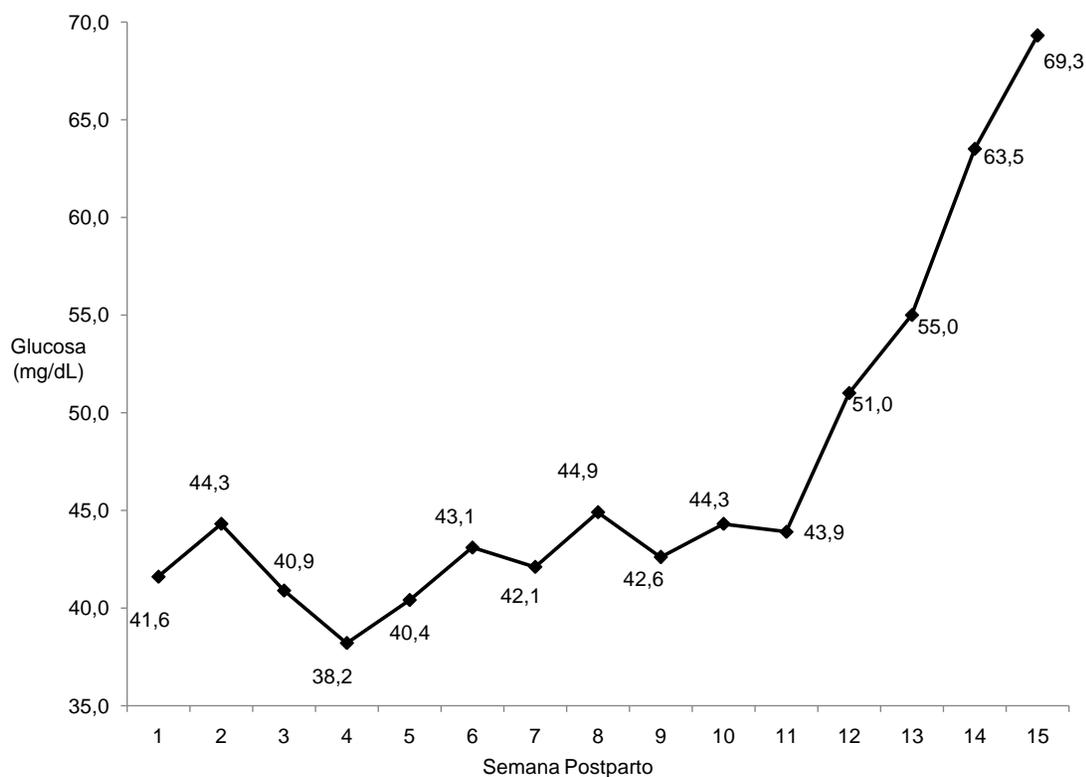


Figura 10. Niveles de glucosa en vacas Doble Propósito durante los primeros 105 d de lactancia (15 semanas).

En este sentido, los niveles de glucosa fueron afectados por el número de partos ($p < 0,05$); siendo las vacas de dos partos las que presentaron menores niveles, en promedio, durante el estudio ($42,9 \pm 1,5 \text{ mg/dL}$), diferente a lo que se esperaba, que fuesen las vacas de primer parto las que presentarían menores niveles de glucosa en suero. Sin embargo, estos dos grupos de vacas, las de primer y segundo parto, fueron las que mostraron disminución de los niveles de glicemia más marcado durante las primeras cinco semanas de lactancia, permaneciendo hipoglicémicas durante las semanas 3, 4 y 5.

Además de esto, la glicemia fue afectada por el nivel de producción de leche ($p < 0,05$); siendo las vacas de alta producción las que presentaron los menores niveles, en promedio, de glucosa en sangre durante el estudio ($44,2 \pm 1,8 \text{ mg/dL}$); lo que puede estar asociado al mayor requerimiento de energía para la producción de leche (Hawkins *et al.*, 1995).

Fructosamina: El promedio de los niveles de fructosamina en sangre durante el estudio fue de $520,2 \pm 26 \mu\text{mol/L}$. Los niveles de fructosamina fueron afectados por la semana postparto ($p < 0,01$; Figura 11), y el peso corporal al momento del parto ($p < 0,05$).

Los niveles de fructosamina están estrechamente relacionados con los niveles de glicemia, debido a que este metabolito se forma de la unión de moléculas de glucosa con proteínas. Por otra parte, los niveles de fructosamina indican, de forma retrospectiva, las concentraciones de glucosa dos a tres semanas antes de la toma de la muestra (Álvarez, 2001).

Al igual que la glucosa, los niveles de fructosamina en sangre fueron afectados por el nivel producción de leche, siendo el grupo de vacas de alta producción, el que presentó menores niveles, en promedio, durante el período en estudio ($485,5 \pm 20 \mu\text{mol/L}$). Sin embargo, cuando se habla de este metabolito hay que acotar que es poca la información que se tiene para utilizarlo como referencia, por lo que se hace difícil establecer comparaciones.

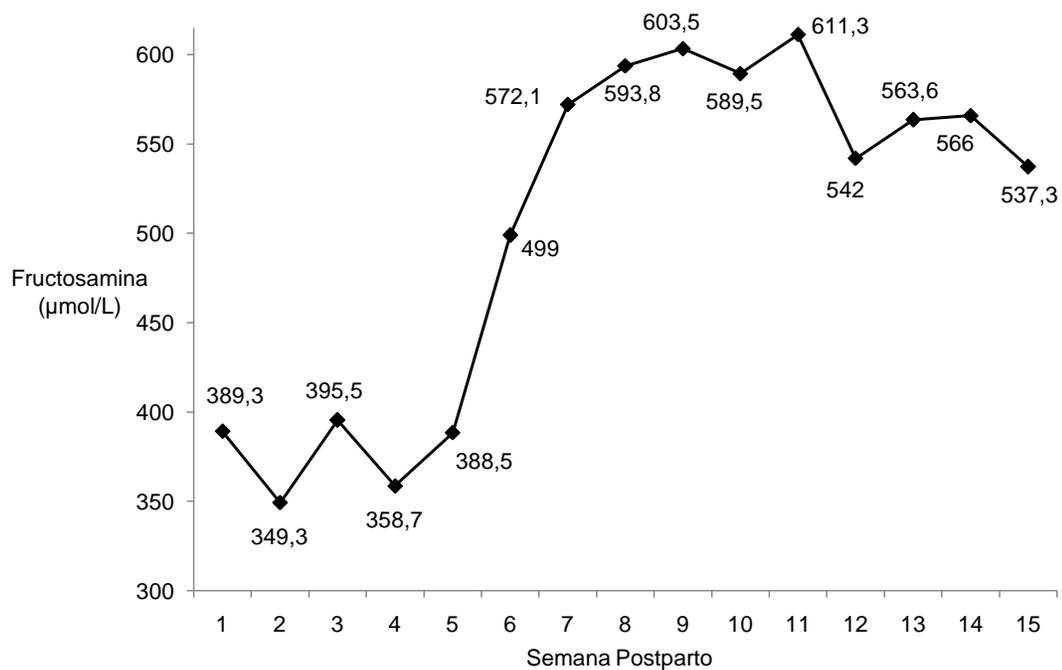


Figura 11. Niveles de fructosamina en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Colesterol: El promedio de los niveles de colesterol en sangre durante el estudio fue de $126,6 \pm 24,7$ mg/dL, el cual se encuentra dentro de los niveles de referencia, según Álvarez (2001), de 107 a 217 mg/dL, pero menores a los obtenidos por Ramírez *et al.* (2001), en vacas Carora, y mayores a los reportados por Marín-Aguilar *et al.* (2007), en vacas Holstein, en México. Sin embargo, en nuestro estudio se observó un aumento de las concentraciones de este metabolito desde la semana 4 hasta la 11 ($p < 0,01$; Figura 12).

El incremento en el perfil lipídico durante el inicio de la lactancia, puede estar relacionado con el esfuerzo fisiológico estresante del inicio de la lactancia, el desbalance energético que la caracteriza y la recuperación posparto que requiere una mayor demanda energética para (Ramírez *et al.*,

2001). Igualmente, estos aumentos se atribuyen a la formación de hormonas, de naturaleza lipídica, durante este crítico período fisiológico (Ramirez *et al.*, 2001). Esto es aún más crítico para vacas de primera lactancia, lo que podría explicar los niveles mayores en este grupo, en comparación con el resto de los otros grupos de edad.

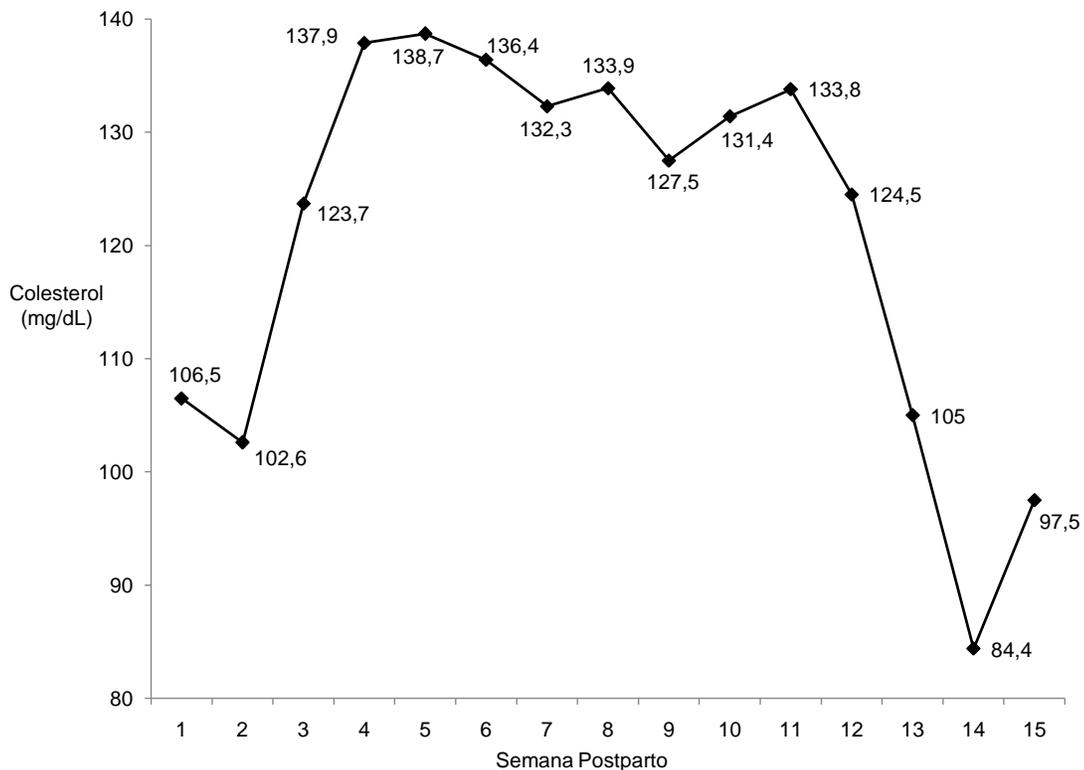


Figura 12. Niveles de colesterol en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Triglicéridos: El promedio de los niveles de triglicéridos en suero durante el estudio fue de $19,5 \pm 4,2$ mg/dL, el cual se encuentra dentro de los niveles de referencia de 12 a 28 mg/dL (Álvarez, 2001), pero son menores a los obtenidos por Ramírez *et al.* (2001), en vacas Carora, y a los reportados por Marín-Aguilar *et al.* (2007), en vacas Holstein en México.

Por otra parte, son resultados contrarios a los que se esperaban, debido a que no se observó, en lo que respecta a los niveles de triglicéridos, el aumento del perfil lipídico reportado por Ramirez *et al.* (2001), al inicio de la lactancia.

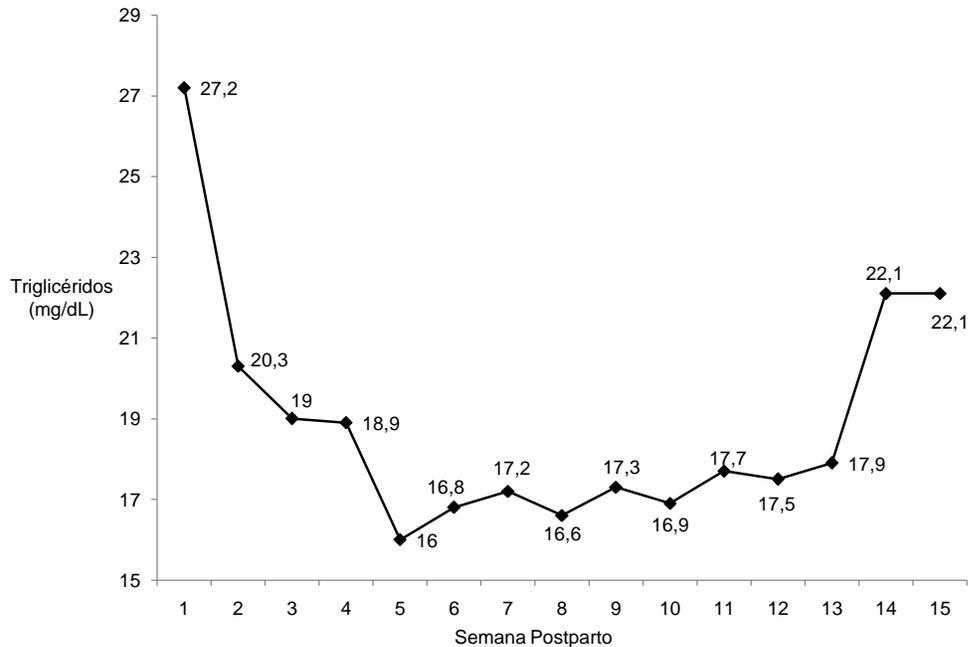


Figura 13. Niveles de triglicéridos en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Sin embargo, aunque en menores concentraciones, los niveles siguen un mismo patrón semanal con respecto a lo observado por Marín-Aguilar *et al.* (2007), observándose, la concentración más elevada de triglicéridos durante la primera semana de lactancia ($27,2 \pm 1,6$ mg/dL; Figura 13). Posteriormente, los niveles se mantuvieron cercanos al límite inferior del rango normal, para estabilizarse después de la semana 12 ($p < 0,01$).

β -Hidroxibutirato: El promedio de los niveles de β -hidroxibutirato en suero durante el estudio fue de $0,6\pm 0,1$ mmol/L, el cual se encuentra dentro de los niveles de referencia (<1 mmol/l; Álvarez, 2001). Estos niveles fueron afectados por la semana postparto, número de partos y nivel de producción de leche ($p<0,01$). En este sentido, en la Figura 14 se observa que las vacas de alta producción presentan un nivel máximo de β -hidroxibutirato durante la semana 4, alcanzando niveles patológicos >1 mmol/l (Álvarez, 2001). Posteriormente disminuyen, pero se mantienen superiores a los niveles de las vacas de media y baja producción de leche, prácticamente durante los 105d del período en estudio.

Esto puede indicar que las vacas de alta producción, durante la semana 4, es cuando tienen los mayores requerimientos de energía y por lo tanto realizan la mayor movilización lipídica, según lo establecido por Wittwer (2000a). Por su parte, en las vacas de baja producción, se observa exactamente lo contrario; los niveles de β -hidroxibutirato, disminuyen alcanzando su menor nivel durante la semana 4, posteriormente aumentan, pero se mantienen por debajo de los niveles de los grupos de alta y media producción de leche, prácticamente durante los 105d del estudio. Las vacas de producción media mantienen sus niveles hasta aumentar ligeramente después de la semana 9.

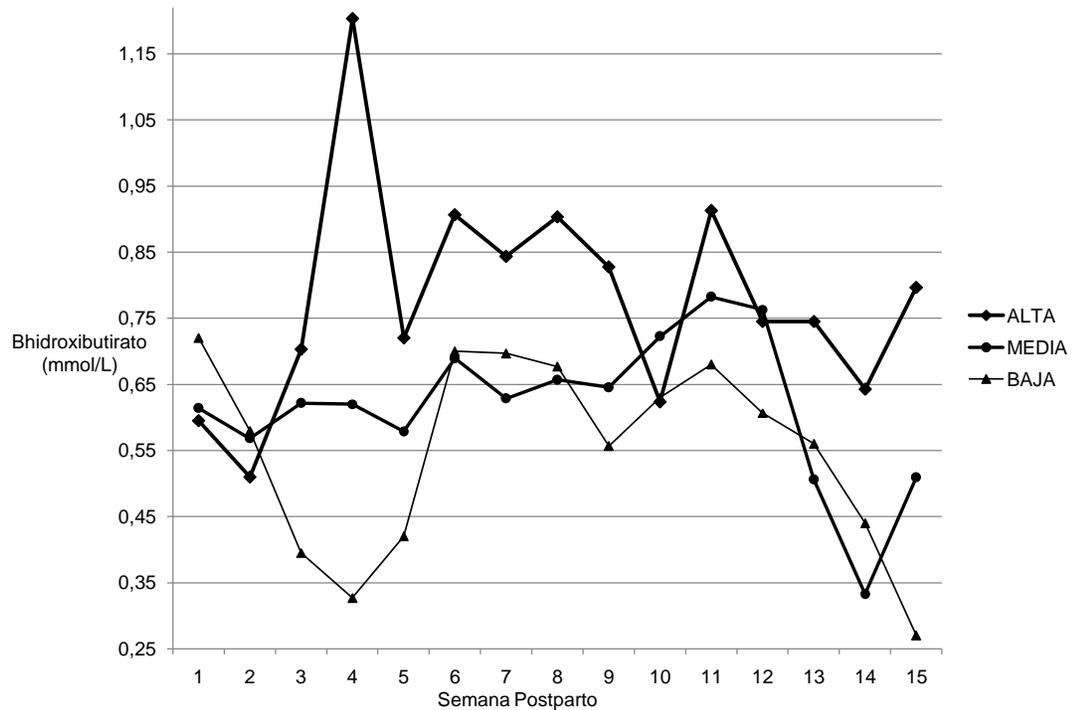


Figura 14. Niveles de β -hidroxibutirato en vacas Doble Propósito durante los primeros 105d de lactancia (15 semanas).

Por su parte, las vacas de primer parto fueron las que presentaron mayores niveles, en promedio, de β -hidroxibutirato durante el estudio $0,7\pm 0,1\text{mmol/L}$ ($p<0,01$). En concordancia con lo explicado anteriormente, se observan los mayores niveles de este metabolito en los momentos de mayores requerimientos de energía, en este caso vacas de primer parto y en vacas en el ascenso de su producción de leche (Vázquez-Añón *et al.*, 1994).

Concentraciones altas de β -hidroxibutirato en sangre, pueden referir a niveles de alimentación insuficientes para suplir los requerimientos del animal. También pueden reflejar alto consumo de alimento concentrado con relación inadecuada, con respecto a los alimentos voluminosos (relación de

3:1, concentrado:fibra), lo que determina una menor utilización de la energía. Otras situaciones que determinan el incremento de β -hidroxibutirato pueden estar relacionados a limitantes en el consumo de forraje debido a una alta densidad de animales por hectárea; por otra parte, cuando existen problemas con la calidad y palatabilidad del forraje, especialmente en consumo de ensilaje, lo que determina una menor cantidad de fibra en el rumen; o cuando hay exceso de proteína no degradable o mucha proteína degradable que limita o demanda grandes cantidades de energía; y por último, cuando el aporte de agua es insuficiente (Álvarez, 2001).

Perfil Metabólico

Las variables bioquímicas utilizadas para la obtención del valor H fueron urea y proteínas totales (Prot T), como indicadores del metabolismo proteico y glucosa (Glu), β -hidroxibutirato (β -OH), que junto a la CC, representan el metabolismo energético. Asimismo, en este análisis también se utilizó la producción de leche.

En el Cuadro 5, se muestran los valores de H para las vacas de baja, media y alta producción durante la primera semana de lactancia. En este sentido, se observa que se obtuvieron valores dentro de los patrones normales (valor de $H \pm 2DE$) y muy similares para los sub-grupos de producción (alta, media y baja). Sin embargo, cabe destacar que los niveles de glucosa y de proteínas totales en sangre, estuvieron ligeramente por debajo del promedio para vacas pertenecientes al sub-grupo de alta

producción; esto puede deberse al inicio del desbalance energético, en el cual entran la mayoría de las vacas lecheras al inicio de la lactancia (Braun *et al.*, 1987), en particular las que mayor leche producen, como en este caso.

Cuadro 5. Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 1 de lactancia de vacas Doble Propósito.

Clase	CC (1-5)	Prod Leche (L)	Glu (mg/dL)	β -OH (mmol/L)	Urea (mg/dL)	Prot T (g/dL)
Baja	3,1	6,2	44,4	0,8	34,5	7,8
Media	2,9	10,7	45,5	0,8	35,1	7,5
Alta	2,9	17,4	39,8	0,9	30,2	6,7
Promedio del Grupo	3,0	10,9	44,4	0,8	34,2	7,4
DE	0,4	4,0	8,4	0,5	12,2	0,9
Valor de H*						
Baja	0,3	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,4
Media	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Alta	-0,3	1,6	-0,5	-0,3	-0,3	-0,7

* Valor de H=(media obtenida –media del grupo) / desviación estándar (DE)del grupo.

Además, los bajos niveles de proteína pudiesen ser consecuencia de un desbalance de energía–proteína, producto del alto aporte de nitrógeno por parte del alimento concentrado, que conlleva a una disminución en la síntesis de proteína microbiana y favorece la elevación del pH ruminal, con incremento en la absorción de amoníaco (Álvarez, 2001).

Para la semana 5 de lactancia (Cuadro 6), al igual que para la primera semana, se obtuvieron valores dentro del rango normal; sin embargo, se observa que las vacas de baja producción presentaron una CC un poco mayor que el promedio y niveles de β -hidroxibutirato inferiores a las vacas de alta producción (valor de H=-0,4 para las de baja producción *versus* 0,9 para

las de alta producción), lo que puede indicar una menor movilización de reservas corporales, por parte de las vacas de baja producción con respecto a las de alta producción (Wittwer, 2000a).

Cuadro 6. Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 5 de lactancia en vacas Doble Propósito.

Clase	CC (1-5)	Prod Leche (L)	Gluc (g/dL)	B-OH (mmol/L)	Urea (mg/dL)	Prot T (g/dL)
Baja	3,3	7,1	38,0	0,5	33,1	7,8
Media	2,8	11,5	41,1	0,8	32,5	7,3
Alta	2,9	19,4	39,0	1,5	31,8	7,6
Promedio del Grupo	2,8	12,3	41,4	0,8	31,8	7,4
DE	0,4	3,9	8,4	0,8	6,0	0,6
Valor de H*						
Baja	1,1	-1,3	-0,4	-0,4	0,2	0,7
Media	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,2
Alta	0,2	1,8	-0,3	0,9	0,0	0,3

* Valor de H=(media obtenida –media del grupo) / desviación estándar (DE) del grupo.

La vaca lechera utiliza los nutrientes de la dieta para mantenimiento, producción de leche, ganancia de peso vivo y reproducción (estro, gestación). La energía y los nutrientes que la vaca ingiere, al inicio de la lactancia, son usados principalmente para la producción de leche. A pesar de la administración *ad libitum* de dietas altas en energía, el nivel máximo de producción de leche, se alcanza por lo general a las 5 semanas postparto, mientras que el nivel máximo en el consumo de materia seca, se logra entre las 12 a 15 semanas postparto; por lo cual, la vaca hace uso de sus reservas corporales de energía para satisfacer la alta demanda energética durante las primeras semanas de lactancia, experimentando un periodo de BEN que

puede prolongarse alrededor del primer trimestre postparto (Braun *et al.*, 1987).

El BEN está caracterizado por disminución de los niveles de glucosa en sangre. El organismo responde sintetizando este metabolito a través de la gluconeogénesis, pero los precursores para este proceso, en el caso de BEN, se encuentran disminuidos, lo cual hace que se desvíe la utilización del acetato y se sinteticen cuerpos cetónicos (β -hidroxibutirato; Hawkins *et al.*, 1995); esta disminución de la disponibilidad de energía, produce un aumento en la movilización de tejido adiposo, el consecuente aumento de niveles de los ácidos grasos no esterificados (NEFA) en sangre y por lo tanto mayor síntesis de cuerpos cetónicos, como el β -hidroxibutirato (Hess *et al.*, 2005).

Cuadro 7. Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 9 de lactancia en vacas Doble Propósito.

Clase	CC (1-5)	Prod Leche (L)	Gluc (g/dL)	B-OH (mmol/L)	Urea (mg/dL)	Prot T (g/dL)
Baja	3,8	6,7	49,7	0,7	38,2	8,0
Media	2,7	11,5	40,9	0,6	32,4	8,1
Alta	2,9	20	39,5	0,8	31,7	7,3
Promedio del Grupo	2,9	12,4	41,8	0,7	33,0	7,9
DE	0,6	4,3	7,2	0,2	6,4	0,8
Valor de H*						
Baja	1,6	-1,3	1,1	0,2	0,8	0,1
Media	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	0,2
Alta	0,0	1,8	-0,3	0,7	-0,2	-0,8

* Valor de H=(media obtenida –media del grupo) / desviación estándar (DE) del grupo.

Para la semana 9 (Cuadro 7), los valores son muy similares a los de la semana 5, con la diferencia que los valores de H para proteínas totales de

las vacas en el grupo de alta producción, son ligeramente inferiores al promedio (valor de H= -0,8), lo que nos refiere a que estas vacas pueden aún mantenerse en un estado de desbalance energético-proteico, además de las mayores demandas de proteínas para la producción de leche (Braun *et al.*, 1987). Asimismo, se encontraron niveles de glucosa por encima del promedio para las vacas de baja producción, todo esto dentro de los valores normales, pero que puede indicar que las vacas de baja producción se normalizan energéticamente en menor tiempo que las vacas de alta producción.

Para la semana 13 (Cuadro 8) los niveles de metabolitos son similares para los sub-grupos con respecto al promedio, lo que puede indicar que es en este momento cuando el animal ha alcanzado un balance entre lo que consume y lo que produce; sin embargo, sigue siendo el subgrupo de vacas de baja producción, el grupo con mejor CC, las vacas de alta producción con niveles de β -hidroxibutirato ligeramente mayores, además, con niveles de urea mayores con respecto a los otros grupos. Los valores elevados de urea pueden ser consecuencia, según Álvarez (2001), de factores tales como: aumento del consumo de proteína, algo común al inicio de la lactancia por el suministro de alimentos concentrados; suministro de proteínas fácilmente digestibles o alto nivel de nitrógeno no proteico, los cuales motivan una mayor absorción de amoníaco en el rumen y por consiguiente aumento de la síntesis de urea en el hígado; y por último, aumento del catabolismo tisular producido por ayunos prolongados. Así como la reducción en el consumo de

energía, que provoca disminución en la síntesis de proteína microbiana y favorece la elevación del pH, con incrementos en la absorción de amoníaco.

Cuadro 8. Valor de H para los diferentes metabolitos energéticos y proteicos durante la semana 13 de lactancia en vacas Doble Propósito.

Clase	CC (1-5)	Prod Leche (L)	Gluc (g/dL)	β -OH (mmol/L)	Urea (mg/dL)	Prot T (g/dL)
Baja	3,8	6,1	54,8	0,6	31,9	7,7
Media	3,1	11,6	59,0	0,5	27,8	7,6
Alta	3,3	21,3	55,3	0,7	40,2	7,6
Promedio del Grupo	3,2	11,9	57,7	0,6	30,3	7,6
DE	0,5	4,8	24,0	0,3	8,2	0,5
Valor de H*						
Baja	1,3	-1,2	-0,1	0,0	0,2	0,2
Media	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	-0,3	0,0
Alta	0,2	2,0	-0,1	0,4	1,2	-0,1

* Valor de H=(media obtenida - media del grupo) / desviación estándar (DE) del grupo.

Comportamiento Reproductivo

La variable utilizada para medir el comportamiento reproductivo, fue el intervalo parto-primer cuerpo lúteo. El intervalo parto-primer cuerpo lúteo fue 34 ± 3 d, similar a los observados por Rivas (2008), en vacas Holstein en Los Andes Venezolanos ($33,1 \pm 3,2$ d), y a los registrados por Pinto *et al.* (2009), en vacas mestizas (*Bos taurus x bos índicus*), que presentaron baja condición corporal (36d); sin embargo, en el mismo estudio, también reportan un intervalo de 15d, pero en vacas con mejor condición corporal (Pinto *et al.*, 2009). En este sentido, el intervalo de observado en este estudio (34 ± 3 d), difiere del obtenido por Ramírez *et al.* (1996), en vacas mestizas primíparas, en el estado Zulia (45 ± 5 d), y diferente al intervalo observado en vacas

mestizas Holstein, Pardo Suizo y Brahman (69 ± 12 d), reportado por Rojas *et al.* (1998), también en el estado Zulia.

Perfil Metabólico y Reinicio de la Actividad Ovárica

Las variables metabólicas utilizadas para establecer las correlaciones con el intervalo parto-primer cuerpo lúteo, como indicador del comportamiento reproductivo y actividad ovárica, fueron proteínas totales, albúmina, globulina y urea, como indicadores proteicos; y glucosa, colesterol y β -hidroxibutirato por parte del perfil energético. De estos indicadores, solo la albúmina presentó una correlación negativa ($-0,4$; $p < 0,05$) con el intervalo parto-primer cuerpo lúteo, indicando que el tiempo que transcurre desde el parto hasta la formación del primer cuerpo lúteo puede ser afectado por los niveles de albúmina: a mayores niveles de albúmina menor fue el intervalo parto-primer cuerpo lúteo.

La albúmina tiende a disminuir alrededor del parto, recuperándose posteriormente; esa capacidad de recuperación, se ha asociado directamente con la reanudación de la actividad ovárica postparto (Rivas, 2008). González (2000), señala que la fertilidad de las vacas pudiera verse afectada cuando los niveles de albúmina < 3 g/dL, al inicio de la lactancia, y que aquellas vacas con valores estables de este metabolito, durante las primeras semanas de lactancia, tienden a ser más fértiles. De cualquier forma, una lenta recuperación de los niveles de albúmina, posterior al parto, puede estar asociada a dietas deficientes en proteína, desbalance energía-proteína en la

dieta o funcionamiento hepático que afecta la síntesis de la albúmina y otras proteínas (Rivas, 2008). Los resultados obtenidos, difieren a los registrados por Quintela *et al.* (2003) y Deiros *et al.* (2004), quienes no encontraron relación alguna entre indicadores metabólicos y variables reproductivas. Sin embargo, y contrario a lo establecido por González (2000), Deiros *et al.* (2004), señalan que animales que consumen dietas con un elevado aporte proteico (23% de proteína cruda [PC]) y con elevados niveles de urea en sangre, tienden a incrementar el intervalo parto-concepción en 15d comparado a animales que consumen raciones con un menor contenido de proteína (17,7% PC). Además de esto, se observó una tendencia en la correlación de los niveles de glucosa y de urea con el intervalo parto-primer cuerpo lúteo. En el primer caso, se registró una tendencia en donde los niveles bajos de glucosa pudiesen alargar el tiempo que transcurre desde el parto hasta la formación del primer cuerpo lúteo, lo que puede estar asociado al estado energético del animal para reactivar la reproducción (Lucy, 2003). En cuanto al segundo, se registró una tendencia positiva entre los valores de urea y el intervalo parto-primer cuerpo lúteo, lo que puede asociarse con lo observado en la albúmina y el consumo adecuado de proteína (Álvarez, 2001); sin embargo, cuando se habla de estados hiperurémicos, se considera como una señal de deficiencia de energía que afecta el eje hipotálamo–hipófisis–ovario, con una disminución de la P₄ en plasma y de la tasa de concepción (Wittwer, 2000a).

COLCUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observó cambios negativos de peso y condición corporal (CC) durante las primeras cinco semana de lactancia; luego, hasta la semana nueve, las vacas continúan perdiendo peso pero en poca proporción, y posterior a la semana nueve de lactancia, se presentó una notable ganancia de peso y de CC. Estos cambios estuvieron afectados por el nivel de producción de leche.

En cuanto al perfil metabólico de las vacas doble propósito durante el inicio de la lactancia, se pudo observar un desbalance energético las ocho primeras semanas, en especial las primeras cuatro semanas en vacas con mayor producción de leche; se evidenció una disminución en los niveles de glucosa y aumento de las concentraciones de β -hidroxibutirato en sangre, que junto a la disminución de CC, se puede hablar de un balance energético negativo (BEN) durante las semanas mencionadas.

De las variables metabólicas utilizadas, proteínas totales, albúmina, globulina y urea, como indicadores proteicos; y glucosa, colesterol y β -hidroxibutirato por parte del perfil energético, solo la albúmina presentó un efecto sobre la actividad ovárica postparto, habiendo una correlación negativa entre los niveles de albúmina a los 30d postparto y el intervalo parto–primer cuerpo lúteo. Asimismo, se observó una tendencia de la glucosa (correlación negativa) y la urea (correlación positiva) sobre el mismo intervalo.

Por último, es indispensable un adecuado manejo nutricional durante el preparto para que la vaca llegue con buena CC al momento del parto; este manejo debe continuar durante el inicio de lactancia, considerando las exigencias nutricionales según la producción de leche; esto con el fin de reducir la pérdida de peso y de CC, y disminuir la severidad del BEN durante este periodo; de esta forma, se estabilizarían los niveles de metabolitos sanguíneos en menor tiempo, lo que está asociado a la reanudación de la actividad reproductiva posterior al parto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allain, C.; Poon, L.; Chan, C.; Richmond, W.; Fu, P. 1974. Enzymatic determination of total serum cholesterol. *Clinical Chemistry*. 20:470-475.
- Álvarez, J. L. 2001. *Bioquímica Nutricional y Metabólica del Bovino en el Trópico*. Edit. Universidad de Antioquia, Colombia. pp. 201.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis*, 13th. Ed. Washington, D.C. pp. 1213.
- Arreguín, A.; Santos, E.; Villa-Godoy, A.; Román-Ponce, H. 1997. Dinámica folicular ovárica en vacas Cebú con diferente condición corporal y frecuencia de amamantamiento durante el período anovulatorio posparto. *División de Educación Continua, UNAM, FMVZ (Eds.). VII Curso Internacional de Reproducción Bovina*. México, D.F. pp. 210–240.
- Arriojas, L.; E. Chacón. 1989. Producción de materia seca, valor nutritivo y valor alimenticio de las pasturas introducidas en las sabanas venezolanas. En: D. Plasse y N. Peña de Borsotti (Eds.). *V Cursillo sobre Bovinos de Carne*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias Veterinarias. Maracay, Venezuela. p. 231.
- Beam, S. W.; Butler, W. R. 1998. Energy balance, metabolic hormones, and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *Journal of Animal Science*. 81:121-131.
- Bossis, I.; Wettemann, R.; Welty, S.; Vizcarra, J.; Spicer, L.; Diskin, M. 1999. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. *Journal of Animal Science*. 77:1536-1546.
- Braun, R.; Donovan, G.; Tran, T. 1987. Body Condition Scoring. Florida Dairy Production Conference. "Profit from efficiency". University of Florida, Gainesville. p. 138.
- Butler, W. R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*. 60-61:449-457.
- Byers, F.; Schelling, G. 1993. Los lípidos en la nutrición de los rumiantes. En: *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Ed. Church, D. C. Acribia S. A., Zaragoza, España. p. 305-337.

- Ceballos, A.; Villa, N.; Bohórquez, A.; Quiceno, J.; Jaramillo, M.; Giraldo, G. 2002. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 15:1-26.
- Contreras, P. A.; Wittwer, F.; Bohmwald, H. 2000. Usos dos perfis metabólicos no monitoramento nutricional dos ovinos. En: González, F., Barcelos, J., Ospina, H. y Ribeiro, L. (Eds.). *Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais*. Porto Alegre, Brasil, Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 75-88.
- Deiros, J.; Quintela, L.; Peña, P.; Becerra, J.; Barrio, M.; Alonso, G.; Varela, B.; Herradon, P. 2004. Urea plasmática: relación con el equilibrio energético y parámetros reproductivos en vacunos lecheros. *Archivos de Zootecnia*. 53:141.
- Dunn, T.; Moss, G. 1992. Effects of nutrient deficiencies and excesses on reproductive efficiency of livestock. *Journal of Animal Science*. 70:1580-1593.
- Fallas, M.; Zarco, L.; Galina, C.; Basurto, H. 1987. Efecto del amamantamiento sobre la actividad ovárica posparto en vacas F1 (Holstein x Indobrasil) en dos tipos de pasto. INIFAP Ed. Reunión de Investigación Pecuaria en México. p. 348-349.
- Ferguson, J.; Galligan, D.; Thomsen, N. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 77:2695-2703.
- Galina, C.; Orihuela, A.; Duchateau, A.; Navarro-Fierro, R. 1987. Reproductive performance of Zebu cattle in Mexico using artificial insemination. *Veterinary Clinics of North America*. 3:619-632.
- Guerrero, N.; Manzo, M.; Cermeño, H.; Beltrán, J.; Bastidas, P. 1994. Características del intervalo postparto en vacas mestizas Holstein y Carora con puerperio normal y patológico. VII Congreso Venezolano de Zootecnia. San Juan de los Morros. (Memorias). p. 125.
- Gong, J.; Lee, W.; Garnsworthy, P.; Webb, R. 2002. Effect of dietary-induced increases in circulating insulin concentrations during the early postpartum period on reproductive function in dairy cows. *Reproduction*. 123:419-427.

- González, F. 2000. Uso de perfil metabólico no diagnóstico de doenças metabólicas-nutricionais. En: González, F.; Barcelos, J.; Ospina, H. y Ribeiro, L. (Eds.). Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre, Brasil, Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 89-106.
- Hafez, E.; Hafez, B. 2002. Reproducción e Inseminación Artificial en Animales. 7ª Ed. Mc Graw-Hill. México. p. 519.
- Hawkins, D.; Niswender, K.; Oss, G.; Moeller, C.; Odde, K.; Sawyer, H. 1995. An increase in serum lipids increases luteal lipid content and alters the disappearance rate of progesterone in cows. *Journal of Animal Science*. 73:541–545.
- Herdt, T. 2000. Variability, characteristics and test selection in herd level nutritional and metabolic profile testing. En: *The Veterinary Clinics of North America. Metabolic Disorders of Ruminants*. Braun, W. F. and Robert, S. Y. W. B. Ed. Saunders Company, Philadelphia. p. 387.
- Hess, B. W.; Lake, S. L.; Scholljegerdes, E. J.; Weston, T. R.; Nayigihugu, V.; Molle, J. D.; Moss, G. E. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science*. 83:E90–E106.
- Jensen, A.; Petersen, M.; Houe, H. 1993. Determination of fructosamine concentration in bovine serum samples. *Zentralbl Vetrinarmed A*. 40:111-117.
- Kaneko, J. J.; Harvey, J. W.; Bruss, M. L. 1997. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 5th edición, Academic Press, Inc. San Diego. p. 932.
- Kanuya, N.; Matiko, M.; Kessy, B.; Mgongo, F.; Ropstad, E.; Reksen, O. 2006. A study on reproductive performance and related factors of zebu cows in pastoral herds in a semi-arid area of Tanzania. *Theriogenology*. 65:1859–1874.
- Kida, K. 2002. The metabolic profile test: its practicability in assessing feeding management and periparturient diseases in high yielding commercial dairy herds. *Journal of Veterinary Medical Science*. 64:557-563.
- Lucy, M. C. 2003. Mechanisms linking nutrition and reproduction in postpartum cows. *Reproduction Suppl*. 61:415–427.
- Marín-Aguilar, A.; Tinoco, J.; Herrera, J. 2007. Reinicio de la actividad ovárica y nivel de metabolitos de lípidos en vacas lecheras suplementadas con aceite vegetal durante el parto temprano. *INCI*. 32:180-184.

- McDougall, S.; Rhodes, F. M. 1999. Detection of a corpus luteum in apparently anoestrous cows by manual palpation, transrectal ultrasonography and plasma progesterone. *New Zealand Veterinary Journal*. 47:47-52.
- Meikle, A.; Cavestany, D.; Blanc, J.; Krall, E.; Uriarte, G.; Rodríguez-Irazoquil, M.; Rupprechter, G.; Ferraris, A.; Chilibroste, P. 2003. Perfiles metabólicos y endocrinos, parámetros productivos y reproductivos en vacas de leche en condiciones pastoriles. *Veterinaria*. 40:25-40.
- Montiel, F.; Ahuja, C. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science*. 85:1–26.
- Moro, J.; Castañeda, G.; Ruiz, F.; Román, H. 1994. Aplicación de un sistema de registro de la producción en ganaderías de doble propósito. INIFAP Ed. VII Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del estado de Veracruz, Veracruz, México. p. 135.
- National Research Council (NRC). 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 6th edition. National Academy Press, Washington. Academy Press. p. 157.
- Ostrowski, J.; Lefebvre, E.; Baigun, R.; Ruter, B.; Glúdice, A.; Catalá, G.; Sara, R.; Agüero, A.; Sucheyne, S.; Auzmendi, J.; Lattaye, M.; Mongiardino, M.; Garcia, R. 1979. Palpación transrectal de genitales. *Teriogenología*. Tomo I. Hemisferio Sur. Buenos Aires. p. 126.
- Owens, F.; Zinn, R. 1993. Metabolismo de la proteína en los rumiantes. En: *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Ed. Church, D. C., Acribia S.A., Zaragoza, España. p. 305.
- Parra, O.; Ojeda, A.; Combellas, J.; Gabaldón, L.; Escobar, A.; Martínez, N.; Benezra, M. 1999. Blood metabolites and their relationship with production variables in dual-purpose cows in Venezuela. *Preventive Veterinary Medicine*. 38:133-145.
- Pinto, L.; Drescher, K.; Ruiz, A.; Pérez, R.; Domínguez, C.; Benezra, M.; Martínez, M. 2009. Relación entre los niveles de glucosa e insulina sanguínea y el reinicio de la actividad ovárica en vacas de doble propósito con diferentes condiciones corporales al parto y diferente nivel de alimentación postparto. *Interciencia*. 34:350-355.

- Quintela, L.; García, M.; Peña, A.; Díaz, C.; Barrio, M.; Becerra, J.; Herradon, P. 2003. Asociación entre el perfil sérico bioquímico y la duración de la involución uterina en hembras bovinas de producción Láctea. Archivos de Zootecnia. 52:419.
- Ramírez, R. 2002. Evaluación agronómica y utilización a pastoreo del pasto *Paspalum fasciculatum wild* fertilizado con diferentes dosis de nitrógeno y azufre en el estado Yaracuy. Tesis de grado. FAGRO-UCV. p. 80.
- Ramírez, L.; Linares, R.; Díaz, A. 1999. Hematología y ciclicidad ovárica en nulíparas de un rebaño bovino lechero del occidente de Venezuela. II Convención Anual de la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (ASOVAC). Acta Científica Venezolana. 50(Supl. 2):369 (Resumen).
- Ramírez, L.; Soto, B.; González, C.; Soto, G.; Rincón, E. 1996. Actividad ovárica postparto en vacas mestizas primíparas con y sin alteraciones periparturientas. Revista Científica, FCV-LUZ. VI:13-20.
- Ramírez, L.; Soto, B.; González, G.; Castillo, S.; Rincón, E. 1992. Factors affecting postpartum ovarian activity in crossbred primiparous tropical heifers. Theriogenology. 38:449-460.
- Ramírez, L.; Soto, B.; Morillo, L.; J. G.; Díaz, A. 2001. Hematología y perfiles metabólicos en hembras peripartorientas con predominancia racial Carora. Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología. Vol. Especial:73-78.
- Ramírez, L.; Torres, D.; León, P.; Azuaje, K.; Sánchez, F.; Díaz, A. 1998. Observaciones hematológicas en varios rumiantes tropicales. Revista Científica, FCV-LUZ. VIII: 105-112.
- Randel, D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. Journal of Animal Science. 68:853-862.
- Rhodes F.; Entwistle, K.; Kinder, J. 1996. Changes in ovarian function and gonadotrophin secretion preceding the onset of nutritionally induced anestrus in *Bos indicus* heifers. Biology of Reproduction. 55:1437-1443.
- Ringbom, A. 1979. Formación de complejos en química analítica. Capítulo 12. Editorial Alambra. Madrid, España. p. 1-5.
- Rivas, J. 2008. Indicadores del metabolismo proteico en vacas lecheras suplementadas con *Saccharomyces cerevisiae* al inicio de la lactancia. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. pp. 56.

- Rodkey, F. 1964. Tris (hydroxymethyl) Aminomethane as a Standard for Kjeldahl Nitrogen Analysis. *Clinical Chemistry*. 10: 606-610.
- Rojas, N.; Aranguren-Méndez, J.; Quintero, A.; Soto, G.; Hernández, H. 1998. Reinicio de la actividad ovárica postparto en vacas mestizas de doble propósito suplementadas con bloques multinutricionales. *Revista Científica, FCV-LUZ*. VIII:331-336.
- SAS. 2001. SAS/STAT™ User's Guide. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Schillo, K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. *Journal of Animal Science*. 70:1271–1282.
- Senatore, E. M.; Butler, W. R.; Oltenacu, P.A. 1996. Relationships between energy balance and postpartum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows. *Animal Science*. 62:17-23.
- Short, R.; Bellows, R.; Staingmiller, R.; Berardinelli J.; Custer, E. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and fertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*. 68:799-816.
- Thatcher, W. W.; Moreira, F; Staples, C.; Risco, C.; Díaz, T.; Ambrose, D.; Adams A. 1998. Fisiología y endocrinología de la reproducción para mejorar la eficiencia reproductiva en el ganado bovino. En: *Mejora de la Ganadería de Doble Propósito*. Ed. González-Stagnaro, C.; Madrid-Bury, N. y Soto Belloso, E., Astro Data S.A. Maracaibo. p. 445-480.
- Triplett, B.; Neuendorff, D.; Randel, R. 1995. Influence of undergraded intake protein supplementation on milk production, weight gain, and reproductive performance in postpartum Brahman cows. *Journal of Animal Science*. 73:3223-3229.
- Vaccaro, R. 1990. Comportamiento de bovinos para doble propósito en el Trópico. *Seminario Internacional sobre Lechería Tropical*. Villahernosa, Tabasco, México. p. 14–35.
- Vázquez-Añon, M.; Bertics S.; Luck, M.; Grummer, R. R. 1994. Peripartum liver triglycerides and plasma metabolites in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 77:1521- 1528.
- Wathes, D.; Fenwick, M.; Cheng, Z.; Bourne, N.; Llewellyn, S.; Morris, D.; Kenny, D.; Murphy, J.; Fitzpatrick, R. 2007. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology*. 68:232-241.

- Wettemann, R.; Lents, C.; Ciccioli, N.; White, F.; Rubio, I. 2003. Nutritional and suckling mediated anovulation in beef cows. *Journal of Animal Science*. 81:48-59.
- Williams, G. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *Journal of Animal Science*. 68:831–852.
- Wittwer, F. 2000a. Diagnósticos dos desequilíbrios metabólicos de energia em rebanhos bovinos. In: González, F.; Barcellos, J.; Ospina, H.; Ribeiro, L. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre, Brasil, Gráfica da Universidade do Rio Grande do Sul. p. 9-22.
- Wittwer, F. 2000b. Marcadores bioquímicos no controle de problemas metabólicos nutricionais em gado de leite. In: González, F.; Barcellos, J.; Ospina, H.; Ribeiro, L. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre, Brasil, Gráfica da Universidade do Rio Grande do Sul. p. 53-62.
- Wright, P.; Malmo, J. 1992. Pharmacologic manipulation of fertility. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 8:57–89.
- Young, D. 1990. Effects of drugs on clinical laboratory tests. AACC Press. Tercera edición. p. 944-999.
- Zulu, V. C.; Sawamukai, Y.; Nakada, K.; Kida, K.; Moriyoshi, M. 2002. Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and postpartum ovarian function in dairy cows. *Journal of Veterinary Medical Science*. 64:879-885.