

ARTÍCULOS ORIGINALES

Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales, Colombia

Alejandro Ceballos², MVZ, MSc; Paulo M Gómez², MVZ; Mónica L Vélez², MVZ;
Néstor A Villa², MVZ, MSc; Luis F López³, MVZ

² Departamento de Salud Animal, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia*;

³ Departamento Técnico, Central Lechera de Manizales S.A., Manizales, Colombia.

(Recibido: 13 julio, 2001; aceptado: 25 septiembre, 2001)

Resumen

Con el objeto de describir los cambios en el metabolismo energético desde un mes antes del parto hasta dos meses postparto, se seleccionaron 60 vacas de 12 rebaños lecheros distribuidos en dos pisos térmicos característicos de la zona de Manizales, Colombia (5° 4' LN y 75° 3' LO). A cada vaca se le tomó, mediante venopunción coccígea, entre 5 y 10 ml de sangre con y sin anticoagulante cada dos semanas desde la cuarta semana preparto hasta la octava semana de lactancia. Se determinó la concentración de glucosa, fructosamina, colesterol total y fracciones HDL, LDL, triacilglicérols, butiratos, ácidos grasos libres (AGL), y la producción de leche y condición corporal (CC). Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, prueba de "t" y análisis de la varianza, asimismo se obtuvieron correlaciones entre las diferentes variables. Se fijó como nivel de significancia $p < 0.05$. La producción promedio de leche fue $14,6 \pm 2,6$ y $23,7 \pm 5,0$ kg/vaca/día para las vacas ubicadas en zona baja y alta, respectivamente ($p < 0.05$). La CC fue $3,5 \pm 0,4$ para el preparto y $3,0 \pm 0,3$ para el postparto ($p < 0.05$). La concentración de glucosa fue $3,8 \pm 1,0$ y $3,7 \pm 1,0$ mmol/L para los períodos preparto y postparto, respectivamente ($p > 0.05$). La concentración de colesterol fue $2,8 \pm 0,6$ y $3,5 \pm 1,1$ mmol/L ($p < 0.05$), y la concentración de β -hidroxibutiratos fue $1,0 \pm 1,0$ y $1,3 \pm 1,2$ mmol/L ($p > 0.05$), para los períodos preparto y postparto, en forma respectiva. Las fracciones HDL y LDL presentaron una menor participación en la composición total del colesterol en el postparto, mientras que la fracción VLDL, representada como triacilglicérols, aumentó para el mismo período. Se observaron correlaciones significativas entre la producción de leche y la concentración de glucosa ($r = 0,14$; $p < 0.05$) y colesterol ($r = 0,31$; $p < 0.05$), así como entre la concentración de glucosa y colesterol ($r = 0,12$; $p < 0.05$) sanguíneos. La concentración de β -hidroxibutiratos se correlacionó con la concentración de AGL ($r = 0,32$; $p < 0.05$). La concentración de colesterol, β -hidroxibutiratos y AGL son indicadores confiables del balance de energía desde un mes preparto hasta la semana seis postparto, momento en el cual la vaca, bien sea de baja o alta producción, alcanza su equilibrio metabólico después del parto.

Palabras clave: lactancia, metabolismo energético, periparto.

Introducción

En Colombia se ha observado un aumento en la producción lechera, que ha sido sostenido en los últimos años. La producción pasó de 728 millones de litros en

1950 a 5326 millones en 1997, con un crecimiento promedio anual para el período 1978-1996 de un 5,9%. Las lecherías especializadas participan con un 52% del total de leche producida. Este fenómeno ha sido observado en otros países dado el progreso en la

* Dirección para solicitar reimpresos

selección y mejoramiento genético y en el manejo de la alimentación.

El aumento en la producción ha traído como consecuencia un aumento en la incidencia de enfermedades metabólicas, conocidas como enfermedades de la producción (4, 20). Así, en rebaños con una elevada producción por lactancia la incidencia de parálisis puerperal hipocalcémica puede incrementarse hasta un 50% y los casos de desplazamiento del abomaso pueden alcanzar el doble de los observados en rebaños con producciones bajas; igualmente, la fertilidad se ve disminuida al elevarse la producción de leche, observándose un aumento en los casos de distocias, retención de placenta, abortos, infecciones uterinas y enfermedad ovárica quística (7, 9, 18). Todas las alteraciones de la homeostasis en el animal con el fin de aumentar la producción de leche, conllevan a un aumento en la incidencia de dichas enfermedades, lo que se ve agravado por la disminución en el consumo de materia seca (CMS) al inicio de la lactancia.

Uno de los cambios fisiológicos que experimenta el animal al acercarse la lactancia es el aumento en sus requerimientos energéticos, los que pueden incrementarse hasta un 23% durante el último mes preparto (19), además, durante este tiempo el consumo de alimentos disminuye hasta un 30%, conduciendo a la vaca a un balance energético negativo que empieza desde un mes preparto, se acentúa en la primera semana postparto y se puede extender hasta la séptima semana postparto (15).

El balance energético negativo obliga a la vaca a realizar un ajuste metabólico que se caracteriza por la movilización de sus reservas (lípidos corporales) y por el aumento de la concentración plasmática de ácidos grasos libres (AGL), que bajo condiciones normales son oxidados en el ciclo de Krebs; pero, debido al déficit energético en este período, se oxidan en forma incompleta y se transforman en cuerpos cetónicos. El aumento en la movilización grasa resulta en un aumento de la captación y reesterificación hepática de AGL en forma de triacilgliceroles, y debido a que los rumiantes sufren una disminución en la liberación de dichos triacilgliceroles en forma de lipoproteínas de muy baja densidad (5, 13), se produce una acumulación de lípidos en el hígado en los primeros días después del parto para desaparecer progresivamente a medida que avanza la lactancia, la que puede alcanzar hasta un

17% del peso del hígado (12); considerando que valores superiores disminuyen la capacidad funcional de los hepatocitos, la vaca está propensa a la presentación de enfermedades metabólicas postparto. Además, una elevada concentración de AGL es un factor de alto riesgo para distocias, retención de placenta, cetosis, desplazamiento del abomaso y mastitis en el período postparto (29, 31).

Para evaluar el grado de movilización grasa y la magnitud del desequilibrio energético se han empleado los perfiles metabólicos, dados a conocer desde 1970 como un método diagnóstico paraclínico para detectar alteraciones metabólicas en rebaños lecheros consecuentes a desequilibrios en el ingreso, circulación o egreso de los nutrientes al organismo; así, es necesario contar con la evaluación de los indicadores más relevantes para llegar a un análisis integral de la situación de la vaca al inicio de la lactancia. Se ha reportado la evaluación de glucosa, colesterol, triglicéridos, AGL, butiratos, y recientemente fructosamina, como algunos de los metabolitos más significantes para conocer el balance energético (10).

En estudios realizados fuera del país, se ha señalado que una alternativa es determinar AGL o butiratos en las semanas previas al parto y antes de la sexta semana postparto, mientras que el colesterol es un buen indicador después de la sexta semana. En Colombia se han realizado investigaciones con respecto al balance de energía en bovinos (17); pero, no se conoce cuáles son las variaciones del mismo en los períodos pre, peri y postparto en la vaca mantenida bajo las condiciones de pastoreo y suplementación nuestras.

En consideración a lo anterior, el objetivo de este estudio es describir cuáles son los cambios bioquímicos relacionados con el balance de energía durante el período de transición en la vaca lechera, considerándolo entre el último mes preparto y los dos primeros meses de lactancia en hembras de explotaciones lecheras localizadas en Manizales, Colombia.

Materiales y métodos

En el área rural del municipio de Manizales, Colombia (5° 4' LN y 75° 3' LO) se seleccionaron doce rebaños lecheros según su localización geográfica, sistema productivo y masa ganadera. Seis de los predios se localizaban por debajo de 1200 msnm (zona baja) y los seis restantes se encontraban por encima de 2000

msnm (zona alta), en una zona con características climáticas determinadas por una convergencia intertropical que determina dos épocas de verano y dos lluviosas. La temperatura promedio en la zona baja oscila entre 20 y 24°C, mientras que en la zona alta está entre 15 y 17°C, la humedad relativa en ambas zonas es superior al 80% y la pluviosidad promedio fluctúa entre 1500 y 2000 mm/año.

El sistema productivo de los rebaños seleccionados se clasificaba en lechería especializada en pastoreo intensivo más suplementación o lechería especializada en pastoreo extensivo mejorado (24). En la zona baja no había una raza predominante, los animales eran un mestizaje con diferentes razas, con un promedio de producción de 15 kg/vaca/día, mientras que en la zona alta la raza predominante era Holstein con un promedio de producción de 24 kg/vaca/día. El número de ordeños en los predios seleccionados era de dos diarios.

En el área destinada a la ganadería predominaban las gramíneas como especie forrajera, encontrando principalmente: Estrella (*Cynodon* sp.), Guinea (*Panicum maximum*), Puntero (*Hyparrhenia rufa*) y Brachiaria (*Brachiaria* sp.), en la zona baja, y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Rye Grass (*Lolium* sp), Azul Orchoro (*Bromus catharticus*), Falsapoa (*Holcus lanatus*) y Riqueza (*Anthoxantum odoratum*), en la zona alta. La utilización estaba basada en pastoreo directo o rotacional.

La suplementación con alimentos concentrados comerciales se realizaba en once de los doce predios del estudio, la que se hacía según el nivel productivo de la vaca fluctuando en proporciones de un kilo de concentrado por 3,5 a 6,0 litros de leche producida. En todos los predios se suministraban sales mineralizadas y agua *ad libitum*.

Entre octubre de 2000 y febrero de 2001 en cada rebaño se seleccionó un grupo de animales conformado por cinco vacas parto (cuatro semanas antes del parto). De cada animal se obtuvieron entre 5 y 10 ml de sangre con anticoagulante (asociación fluoruro de sodio/oxalato de potasio) e igual cantidad de sangre sin anticoagulante, mediante venopunción coccígea empleando el sistema de tubos al vacío (Vacutainer® B-D, Franklin Lakes, USA), las muestras se tomaron quincenalmente finalizando en la octava semana postparto. Las muestras fueron

remitidas dentro de 24 horas al Laboratorio de Patología Clínica Veterinaria de la Universidad de Caldas.

Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm para separar el plasma o el suero; posteriormente, se envasaron en tubos de reacción debidamente rotulados y se conservaron a -20 °C hasta su posterior análisis.

En el total de muestras obtenidas se determinó la concentración de glucosa, colesterol y β -hidroxibutiratos; posteriormente, se seleccionaron 45 muestras tomadas en el parto e igual número de muestras postparto según su concentración de glucosa, clasificándolas en el parto como baja (<2,9 mmol/L), intermedia (3,0-4,7 mmol/L) y alta (>4,8 mmol/L), y en el postparto como baja (<2,7 mmol/L), intermedia (2,8-4,5 mmol/L) y alta (>4,6 mmol/L), con el objetivo de determinar la concentración de fructosamina.

Igualmente se seleccionó el mismo número de muestras según la concentración de colesterol, clasificándolos en el parto como baja (<2,1 mmol/L), intermedia (2,2-3,4 mmol/L) y alta (>3,5 mmol/L), y en el postparto como baja (<2,5 mmol/L), intermedia (2,6-4,5 mmol/L) y alta (>4,6 mmol/L) para determinar las fracciones de colesterol (HDL, LDL y VLDL como triacilglicerol).

Finalmente, se seleccionaron 30 muestras parto e igual número de muestras postparto sobre la base de su concentración de β -hidroxibutiratos, clasificándolas en el parto como baja (<0,5 mmol/L), intermedia (0,6-1,6 mmol/L) y alta (>1,7 mmol/L); y en el postparto como baja (<0,7 mmol/L), intermedia (0,8-1,9 mmol/L) y alta (>2,0 mmol/L), con el objeto de determinar la concentración de AGL.

En la tabla 1 se describen los métodos analíticos empleados, así como las unidades (SIU) para cada una de las variables analizadas.

También se determinó la producción de leche (kg/día) para las vacas en el inicio de la lactancia y hasta dos meses postparto mediante pesajes quincenales, empleándose los datos obtenidos en los registros de producción de leche en cada predio.

Asimismo, se evaluó la condición corporal (CC) en cada una de las vacas del estudio mediante la observación quincenal realizada en el momento de

tomar la muestra, se empleó la escala de 1 a 5 puntos (11, 19).

Inicialmente se determinó el tipo de distribución de los datos (21). Se obtuvieron el rango y las estimadas promedio (\bar{x}), desviación estándar (DE) y error estándar de la media (ESM); asimismo, se obtuvo el intervalo de confianza (IC) al 95% y el coeficiente de variación (CV) para cada una de las variables analizadas (34). Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante una prueba de "t" o un análisis de varianza (ANDEVA) según correspondiera, fijando como nivel de significancia $p < 0.05$. Para establecer las diferencias entre los grupos se hizo una prueba de comparación múltiple, fijando el mismo nivel de significancia (37). Igualmente para conocer la interacción de cada variable con la cantidad de leche producida y el estado productivo, se hizo un ANDEVA factorial de 2×2 , las comparaciones entre grupos se hicieron mediante pruebas de comparación múltiple, fijándose $p < 0.05$ como nivel de significancia (37). Las correlaciones se establecieron mediante un coeficiente de correlación simple, se fijó el mismo nivel de significancia (37).

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la determinación del balance de energía en bovinos lecheros.

Variable	Unidades (SIU)*	Método
Glucosa	mmol/L	GOD-PAP
Colesterol	mmol/L	CHOD-PAP
β -hidroxibutiratos	mmol/L	Cinético enzimático
Fructosamina	μ mol/L	Reducción de NBT
Colesterol-HDL	mmol/L	Fosfotungstato magnesio-CHOD-PAP
Colesterol-LDL	mmol/L	Ecuación de Friedewald
Triacilgliceroles	mmol/L	Glicerol fosfato oxidasa / peroxidasa
Acidos grasos libres	mmol/L	Colorimétrico

*SIU: Sistema Internacional de Unidades

Resultados

Producción de leche. La producción de leche, corregida al 4%, en promedio fue $14,6 \pm 2,6$ kg/día para la zona baja y $23,7 \pm 5,0$ kg/día para la zona alta, encontrándose la mayor producción en esta última zona geográfica ($p < 0.05$). Se observó un aumento en la producción a medida que avanza la lactancia, alcanzándose para ambas zonas geográficas la máxima producción en la sexta semana postparto,

donde la cantidad de leche fue en promedio un 18,6% más de lo producido en el inicio de la lactancia (véase Figura 1).

No se observaron interacciones entre la cantidad de leche producida según la ubicación del predio en la zona geográfica o la semana de producción ($p > 0.05$).

Condición corporal. La CC promedio en el total de las vacas del estudio fue $3,5 \pm 0,4$ y $3,0 \pm 0,3$ para el preparto y postparto, respectivamente ($p < 0.05$), situación que fue similar al agrupar las vacas según la cantidad de leche producida. Los valores promedio para la CC en la cuarta y segunda semana preparto fueron superiores a los promedios observados durante el postparto (véase Figura 2a).

Se observó una disminución en la CC de las vacas hasta la semana seis postparto tanto en las de baja como en las de alta producción (véase Figura 2b), encontrándose en la octava semana postparto en las vacas de mayor producción ubicadas en la zona geográfica alta, una CC promedio inferior a las vacas de menor producción ($p < 0.05$).

Al correlacionar la producción de leche con la CC (véase Tabla 2), no se encontró asociación entre estas dos variables ($p > 0.05$).

Metabolitos sanguíneos. La concentración promedio de glucosa fue $3,8 \pm 1,0$ y $3,7 \pm 1,0$ mmol/L para los períodos preparto y postparto, respectivamente, ($p > 0.05$). La glicemia presentó un aumento en la segunda semana preparto, para luego disminuir en forma sostenida hasta la segunda semana postparto, no observándose diferencias según la semana o la cantidad de leche producida ($p > 0.05$).

Al correlacionar la producción de leche con la concentración de glucosa en sangre, se encontró una asociación positiva entre estas dos variables, mientras que la correlación entre la condición corporal y la glicemia no fue significativa (véase Tabla 2).

La concentración promedio de fructosamina fue 346 ± 220 μ mol/L para el período preparto y 428 ± 239 μ mol/L para el postparto, no observándose diferencias entre ambos períodos; no obstante, el valor promedio postparto tiene una tendencia a ser mayor que en el preparto ($p = 0.09$). No se observó correlación entre la concentración de fructosamina y la glucosa ($p > 0.05$).

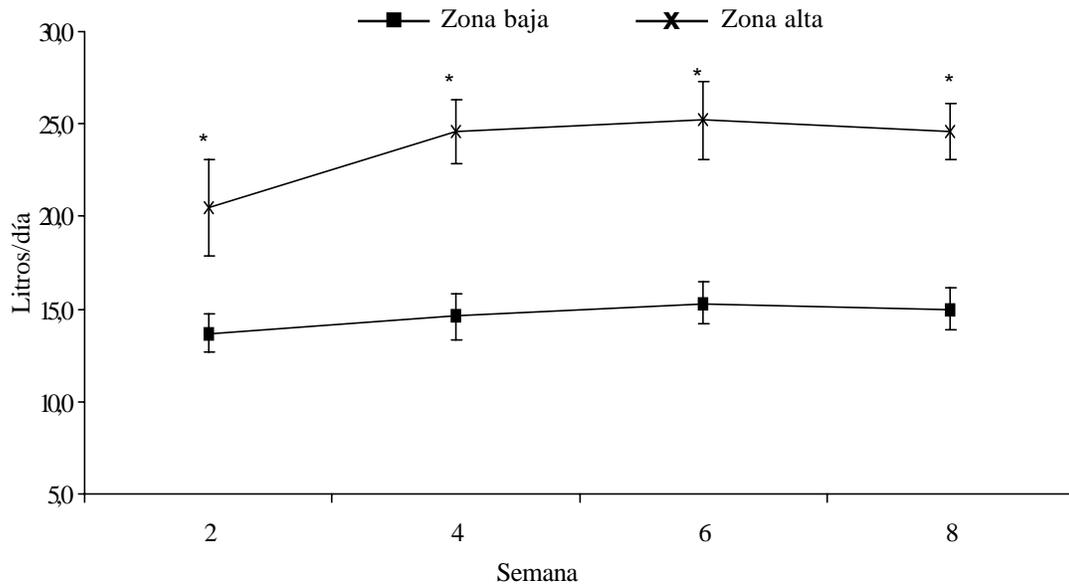


Figura 1. Producción de leche ($\bar{x} \pm \text{ESM}$) desde la segunda hasta la octava semana postparto en 60 vacas distribuidas en seis rebaños lecheros ubicados en zona baja y seis rebaños lecheros ubicados en zona alta del municipio de Manizales, Colombia.
* $p < 0.05$.

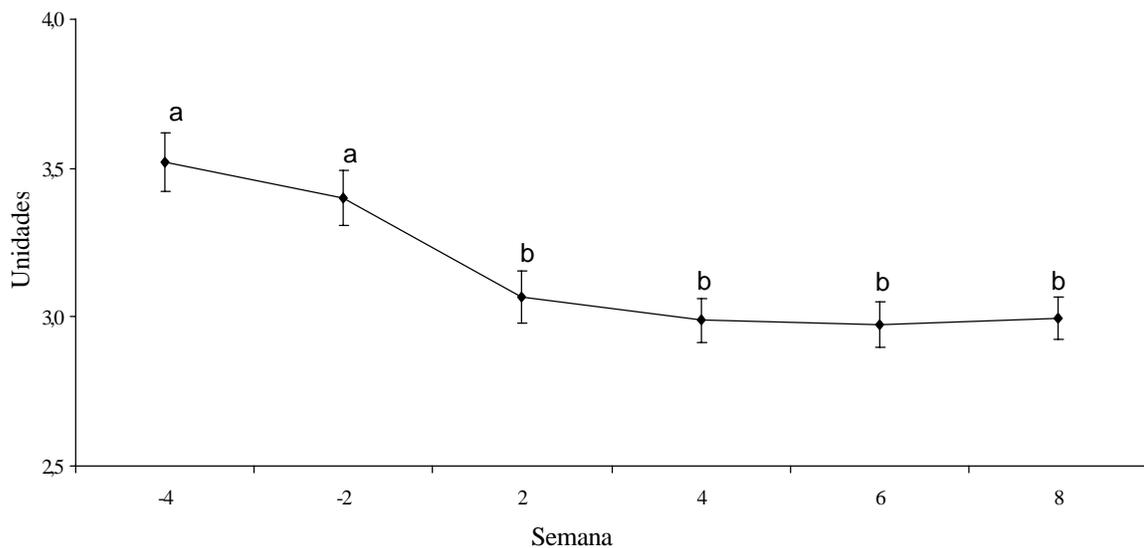


Figura 2a. Condición corporal ($\bar{x} \pm \text{ESM}$) desde la cuarta semana preparto (-4) hasta la octava semana postparto (8) en 60 vacas de 12 rebaños lecheros del municipio de Manizales, Colombia.
Letras diferentes: $p < 0.05$.

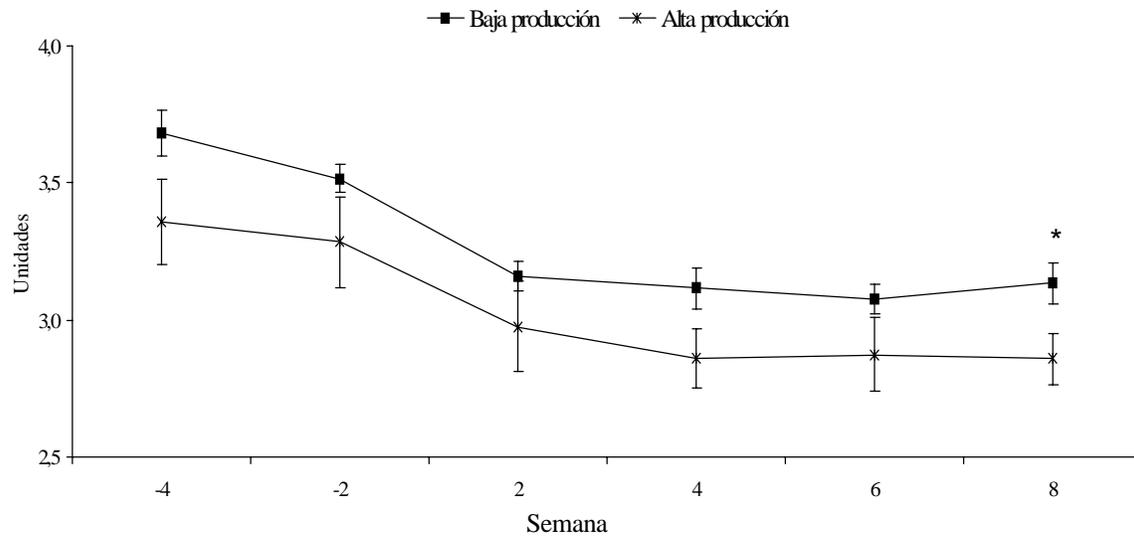


Figura 2b. Condición corporal ($\bar{x} \pm \text{ESM}$) desde la cuarta semana preparto (-4) hasta la octava semana postparto (8) en 60 vacas distribuidas en 6 rebaños lecheros de baja producción y 6 rebaños lecheros de alta producción ubicados en el municipio de Manizales, Colombia.

* ($p < 0.05$).

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre la producción diaria de leche (PL), condición corporal (CC) y concentraciones sanguíneas de glucosa, colesterol y butiratos, obtenidas en 60 vacas de doce rebaños lecheros de Manizales, Colombia.

	PL	CC	Glucosa	Colesterol	Butiratos
PL		-0,04	0,14*	0,31*	-0,07
CC	-0,04		0,05	-0,46*	-0,05
Glucosa	0,14*	0,05		0,12*	-0,11*
Colesterol	0,31*	-0,46*	0,12*		-0,05
Butiratos	-0,07	-0,05	-0,11*	-0,05	

* ($P < 0,05$)

Con respecto a la concentración promedio de colesterol, ésta fue $2,8 \pm 0,6$ mmol/L en el preparto y $3,5 \pm 1,1$ mmol/L en el postparto ($p < 0.05$). La concentración de colesterol presentó una disminución sostenida desde la cuarta semana preparto, alcanzando su nivel más bajo en la segunda semana postparto, posteriormente inicia su aumento alcanzando la máxima concentración en la semana ocho (Figura 3a), situación que fue similar al agrupar las vacas según la cantidad de leche producida (véase Figura 3b).

Para la concentración de colesterol, se observó una interacción significativa entre la cantidad de leche

producida y la semana de lactancia, encontrándose los valores promedio más altos en las vacas de alta producción en las semanas sexta y octava con respecto a los promedios observados en las vacas de baja producción en el mismo período (véase Figura 3b).

La fracción HDL de colesterol presentó una concentración de $1,8 \pm 0,5$ mmol/L y $2,1 \pm 0,8$ en el preparto y postparto, respectivamente; presentándose diferencias según el estado productivo ($p < 0.05$). Con respecto a la fracción LDL, ésta presentó una concentración promedio de $0,9 \pm 0,8$ mmol/L en el preparto y $0,9 \pm 0,8$ mmol/L en el postparto, no

observándose diferencias entre ambos períodos ($p>0.05$).

Antes del parto, la fracción HDL representó un mayor porcentaje del colesterol total con respecto al postparto, igualmente la fracción LDL constituyó un porcentaje mayor del colesterol total en el preparto (véase Figura 4).

La concentración de la fracción VLDL determinada como triacilglicerol, presentó un valor promedio de $0,7 \pm 0,3$ mmol/L para el preparto y $0,8 \pm 0,3$ mmol/L para el postparto ($p>0.05$). La fracción VLDL constituyó un menor porcentaje del colesterol total en el preparto con respecto al postparto (véase Figura 4).

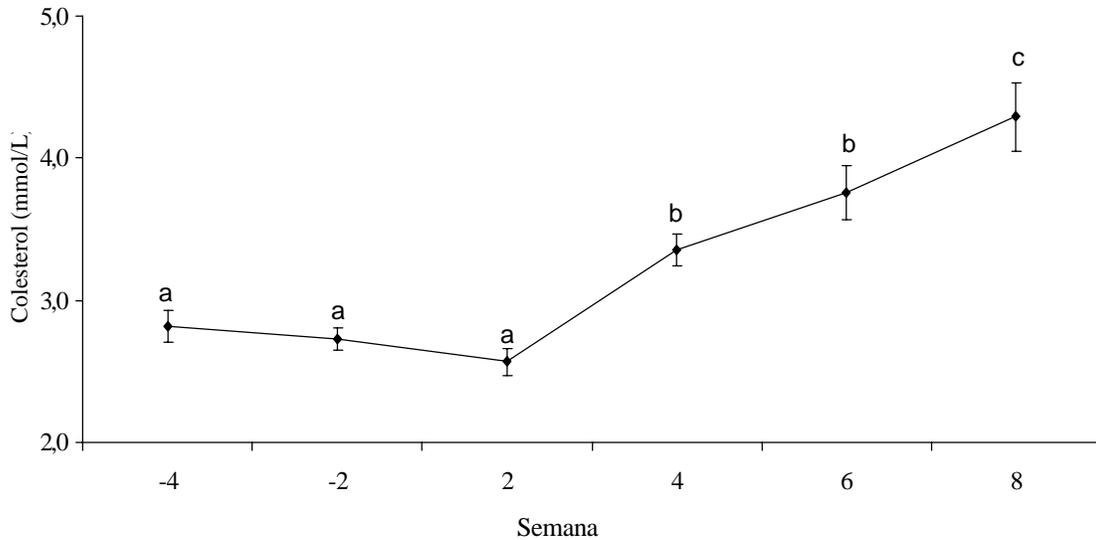


Figura 3a. Concentración de colesterol ($\bar{x} \pm \text{ESM}$) desde la cuarta semana preparto (-4) hasta la octava semana postparto (8) en 60 vacas de doce rebaños lecheros del municipio de Manizales, Colombia.
Letras diferentes: $p<0.05$.

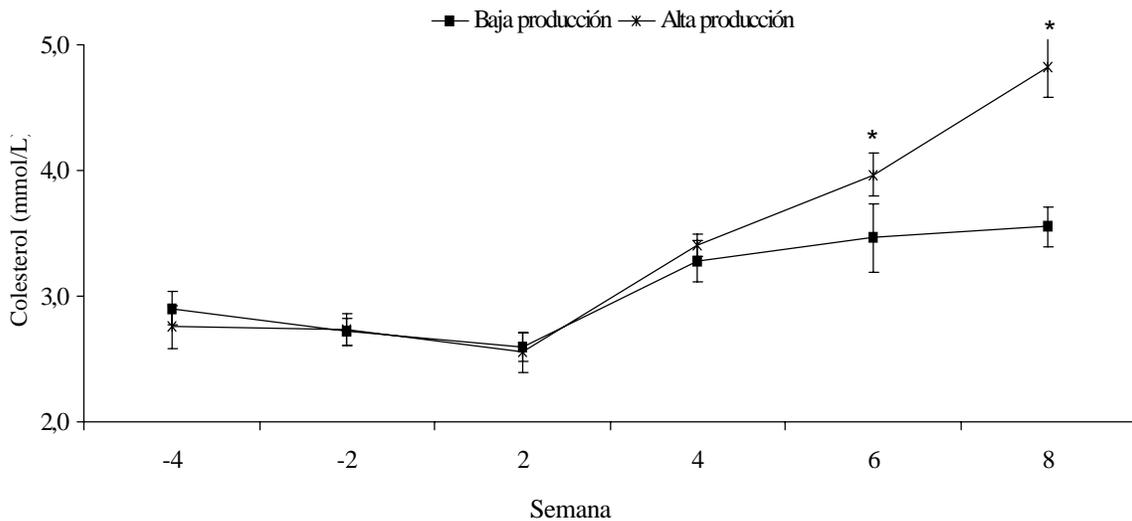


Figura 3b. Concentración de colesterol ($\bar{x} \pm \text{ESM}$) desde la cuarta semana preparto (-4) hasta la octava semana postparto (8) en 60 vacas distribuidas en seis rebaños lecheros de baja producción y seis rebaños lecheros de alta producción ubicados en el municipio de Manizales, Colombia.
* ($p<0.05$).

Las fracciones de colesterol, tanto la HDL como la LDL y la VLDL, se correlacionaron positivamente con la concentración total de colesterol. También se observó una correlación positiva entre la concentración de glucosa y la de colesterol (véase Tabla 2).

Al correlacionar la producción de leche con la concentración de colesterol en suero, se encontró una asociación positiva entre estas dos variables, mientras que la correlación entre la condición corporal y la concentración de colesterol fue negativa y significativa (véase Tabla 2).

La concentración promedio de butiratos fue $1,0 \pm 1,0$ y $1,3 \pm 1,2$ mmol/L para los períodos preparto y postparto, respectivamente, no observándose diferencias entre ellos ($p > 0,05$). En la concentración de butiratos se observó un aumento desde la cuarta semana preparto hasta la sexta semana postparto alcanzando en este momento el máximo valor promedio, no presentándose diferencias entre las semanas ($p > 0,05$).

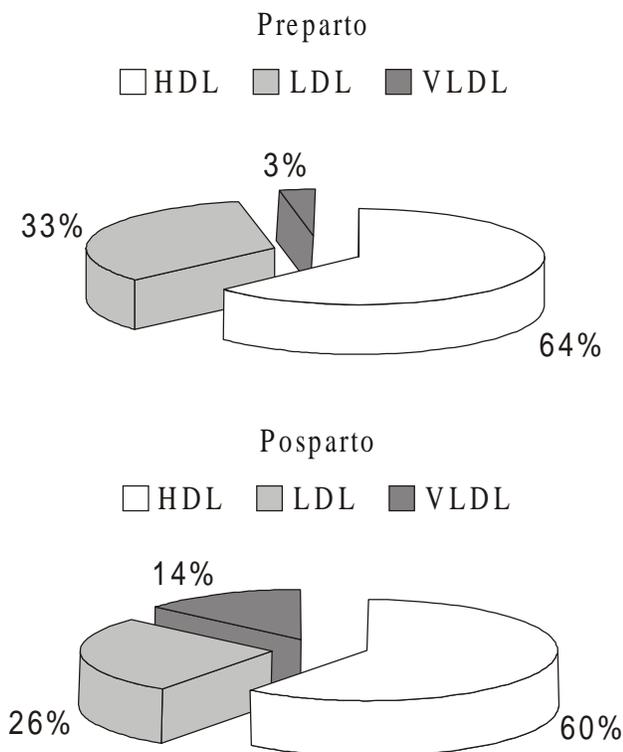


Figura 4. Distribución porcentual de las fracciones de colesterol en el preparto y postparto en vacas de doce rebaños lecheros ubicados en el municipio de Manizales, Colombia.

No se encontraron diferencias en la concentración de butiratos según la cantidad de leche producida; no obstante, en la semana cuatro postparto las vacas de baja producción presentaron una mayor concentración de butiratos con respecto a las vacas de alta producción ($p < 0,05$).

La concentración de butiratos y la glicemia presentaron una correlación positiva, mientras que los butiratos no se relacionaron en forma significativa con el colesterol (véase Tabla 2).

Con respecto a los ácidos grasos libres, la concentración promedio fue $0,6 \pm 0,4$ y $0,7 \pm 0,2$ mmol/L para los períodos preparto y postparto, respectivamente, no se encontraron diferencias según el estado productivo ($p > 0,05$). Se observó una relación de dependencia entre la concentración de butiratos y AGL (véase Figura 5), el valor r fue 0,32 ($p < 0,05$).

Discusión

Se observó una mayor producción de leche en las vacas ubicadas en la zona geográfica alta (véase Figura 1). Considerando que las vacas ubicadas en esta zona eran en su mayoría Holstein, la raza es uno de los factores que incide para alcanzar una mayor producción; además, la zona presentaba mejores alternativas forrajeras y de suplementación para las vacas ubicadas allí. En la sexta semana postparto se alcanzó el pico de producción de leche en ambas zonas geográficas, lo que coincide con lo reportado para vacas productoras de leche, donde la sexta semana es el momento de alcanzar, en promedio, el pico de producción (20, 30).

Se encontró una disminución sostenida de la CC hasta la sexta semana postparto (véase Figura 2a). En ambos grupos de vacas se observó el mismo comportamiento en los cambios de la CC, obteniéndose las calificaciones más bajas en las vacas de alta producción (véase Figura 2b). Durante el período periparto, la vaca presenta una disminución en el CMS y un aumento de sus requerimientos nutricionales obligándola a recurrir a sus reservas de energía para mantener la producción de leche (2, 27, 29), mediante una adaptación metabólica caracterizada por un aumento en la lipólisis y una disminución en la lipogénesis (1, 2) Lo anterior ocasiona una pérdida de peso y una baja en la CC, ambos fenómenos son

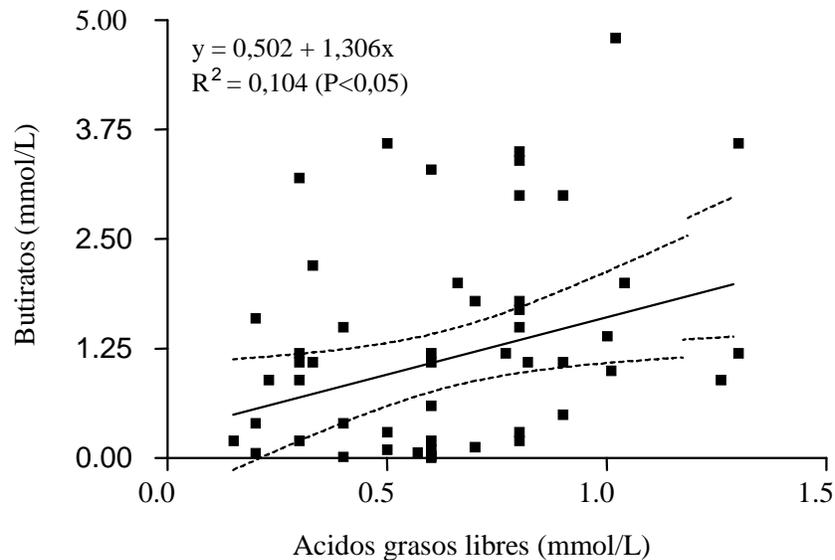


Figura 5. Regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre la concentración sérica de butiratos y ácidos grasos libres en 60 vacas pre y postparto de doce rebaños lecheros de Manizales, Colombia.

característicos del ciclo productivo de la vaca en el inicio de la lactancia (1, 19, 29).

No se observó asociación entre la producción de leche y la CC de las vacas, lo que concuerda con los resultados de otros estudios, donde no se presentaron diferencias entre la CC y la producción de leche en vacas sobrecondicionadas y vacas con una condición intermedia (25).

La concentración promedio de glucosa fue menor en el período postparto, no encontrándose diferencias entre ambos períodos ($p > 0.05$). Otros autores han reportado resultados similares, señalando que la glicemia por estar bajo regulación hormonal estricta no presenta grandes variaciones según el nivel de alimentación (3, 15); además, la glucosa no es tan sensible a los cambios en el balance energético como pueden ser otros indicadores (35).

El aumento en la concentración de glucosa en la segunda semana preparto refleja los cambios hormonales producto de una mayor gluconeogénesis y glicogenólisis; pero, no fueron suficientes para satisfacer la demanda de glucosa en el inicio de la lactancia, ya que en el periparto la glucosa disminuyó. En el inicio de la lactancia la concentración de glucosa plasmática puede disminuir hasta un 25% a causa de una mayor utilización por parte de la glándula mamaria

para la síntesis de lactosa, estímulo osmótico para la producción de leche (17, 25, 32). Pese a lo anterior no se observaron diferencias entre la concentración de glucosa en las vacas de alta y baja producción ($p > 0.05$).

Se observó una correlación positiva (véase Tabla 2) entre la producción de leche y la concentración media de glucosa; no obstante el coeficiente de determinación para esta asociación fue bajo ($R^2 = 0.02$). La glucosa estaba correlacionada con otros indicadores del balance de energía (Véase tabla 2). Otros autores han reportado igualmente una asociación positiva entre glucosa y colesterol (8, 33), mientras que la asociación con butiratos es negativa, lo que concuerda con otros reportes (15).

La concentración de fructosamina es un reflejo de la glicemia en el tiempo (16); así, el aumento en la concentración de este indicador sólo se vería reflejado dos semanas después de la suplementación, lo que concuerda con un aumento en el nivel de fructosamina postparto como consecuencia del inicio de la suplementación en el período preparto. No obstante, en otros estudios se ha reportado una disminución en la concentración de fructosamina postparto en vacas que no eran preparadas en el preparto (10). Pese a la relación que existe entre fructosamina y glucosa, no se observó una correlación entre estas dos variables.

Resultados similares fueron descritos en otro estudio (10).

La concentración de colesterol fue mayor en el post parto (véase Figura 3a), presentándose diferencias según la cantidad de leche producida (véase Figura 3b). Otros estudios han señalado que la concentración sérica de colesterol disminuye en las primeras semanas de lactancia (2, 25, 36), fenómeno atribuible a la demanda energética al inicio de la lactancia. El aumento en la concentración de colesterol refleja los cambios que se producen en la alimentación según el nivel productivo de la vaca (8, 28). Así, al inicio de la lactancia la suplementación es un factor que incide en el aumento en la concentración de colesterol; se ha observado que aproximadamente un mes después del inicio de la lactancia la concentración de colesterol aumenta como respuesta a la suplementación (36).

En la medida que avanza la lactancia y aumenta la producción de leche se observa una mayor concentración de colesterol sérico para las vacas de alta producción, las cuales reciben un mayor aporte energético en la suplementación con concentrados, frente a las vacas de baja producción cuya suplementación era limitada a una cantidad fija de concentrado.

La fracción HDL del colesterol presentó su valor medio más bajo en el preparto ($p < 0.05$), mientras que la fracción LDL no presentó diferencias según el estado productivo ($p > 0.05$). En otros estudios se ha señalado que la concentración de colesterol HDL es baja cerca al parto y aumenta hasta alcanzar valores más elevados cuatro semanas postparto (23). En otras especies ruminantes se ha observado un fenómeno similar (30).

Se ha señalado que la disminución en las fracciones HDL y LDL del colesterol se debe a una deficiencia de energía característica del período periparto de la vaca, probablemente relacionado con una disminución en la salida de lípidos desde el hígado hacia otros tejidos (23). Así, vacas que han desarrollado cetosis o hígado graso, presentan una concentración de colesterol HDL más baja que vacas sanas (23, 26); no obstante no se observaron diferencias según el estado productivo en la concentración de colesterol LDL, habiéndose reportado que frente a una disminución de energía disminuye su concentración (23).

El colesterol HDL representó la mayor fracción del colesterol con respecto a las demás fracciones, ya que la mayor parte de los lípidos plasmáticos en el bovino son transportados en forma de HDL (23).

Con respecto a la fracción VLDL se encontró una concentración baja cerca al parto, para posteriormente aumentar, no observándose diferencias entre ambos períodos ($p > 0.05$). No obstante, la fracción VLDL con respecto al colesterol total, aumentó en el postparto. El aumento de esta fracción está relacionado con una mayor disponibilidad de energía después del inicio de la lactancia, especialmente cuando la vaca se acerca a un balance energético cero o positivo como consecuencia de un mayor consumo de alimentos (13, 22, 30). Igualmente, el aumento de la fracción VLDL se presenta cuando el hígado empieza a recuperar su capacidad para enviar los lípidos a otros tejidos (4, 13).

La concentración promedio de butiratos no presentó diferencias según el estado productivo de las vacas o la cantidad de leche producida ($p > 0.05$), encontrándose dichos valores por encima de los reportados como referencia en la literatura. Se ha encontrado que la concentración de butiratos aumenta al inicio de la lactancia, guardando relación con el balance de energía (15). Otros estudios han reportado resultados similares (3, 22, 25).

El máximo valor en la concentración de butiratos se presentó en la sexta semana postparto coincidente con el pico de producción. El aumento de los butiratos resulta de la oxidación incompleta de los ácidos grasos provenientes de la movilización del tejido adiposo; así, se relacionan negativamente con la concentración de glucosa evidenciando un balance energético negativo en este período (3).

Se encontró una concentración de AGL menor en el preparto ($p = 0.53$), la que aumenta para alcanzar su máximo valor en la segunda semana postparto, lo que concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios. Se ha indicado que en los últimos días preparto hay una depresión del CMS acelerando la lipólisis y la movilización grasa al inicio de la lactancia, lo que conlleva a un aumento en los AGL (3, 25, 32). Cambios endocrinos pueden explicar el aumento agudo en la concentración de AGL en este período, (32).

Las vacas en el inicio de la lactancia presentan cambios bioquímicos que buscan una adaptación

metabólica y hormonal que mantenga la producción de leche; estos cambios son reflejados en la variación en algunos metabolitos sanguíneos, principalmente colesterol, butiratos y AGL; los que pueden ser utilizados como indicadores confiables del balance energético y nutricional de la vaca lechera al inicio de la lactancia. El retorno a un balance energético positivo con la consecuente recuperación de la condición corporal, se alcanza a partir de la quinta semana de lactancia (15). En el presente estudio se encontró que dicho balance energético sólo se alcanza a partir de la octava semana postparto, tanto para las vacas de

alta como para las de baja producción, sugiriendo que para las características de manejo y alimentación empleadas en la región de Manizales, Colombia, la realización de análisis que conduzcan a establecer el balance energético de la vaca es una herramienta diagnóstica y preventiva de desequilibrios metabólicos y nutricionales en ganado lechero en el período comprendido entre un mes antes del parto y hasta la sexta semana postparto, período en el cual la vaca está más exigida nutricional y metabólicamente para mantener la lactancia y donde es más propensa a presentar enfermedades metabólicas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a los propietarios de las ganaderías que participaron en la investigación, a las empresas Central Lechera de Manizales S.A. y PROAGRO Ltda., por su valiosa colaboración financiera para la realización de este estudio.

Summary

Variations of the biochemical indicators of energy balance according to the productive status in dairy cows from dairy herds in Manizales, Colombia

To describe the changes in the energy metabolism from one month prior to calving up two months postpartum, sixty dairy cows from 12 herds from Manizales, Colombia (5° 4' N and 75° 3' W) were selected, the herds were distributed in two thermal floors. Venous blood samples (5 – 10 mL) from each cow using Vacutainer® system were taken biweekly, starting at two weeks prior to calving until the eighth week postpartum. The concentration of glucose, fructosamine, total cholesterol and its fractions (HDL and LDL), triacylglycerols, butyrates, and free fatty acids (FFA), the milk production and body condition (BC) were evaluated. The data were analyzed by means of descriptive statistic, “t” test, and analysis of the variance, and correlations were obtained among the different variables. The significance level was set at $p < 0.05$. The average of milk production was 14.6 ± 2.6 and 23.7 ± 5.0 kg/cow/day for the cows located in low and high altitude area, respectively ($p < 0.05$). The BC was 3.5 ± 0.4 for dry cows, and 3.0 ± 0.3 for postpartum cows ($p < 0.05$). The concentration of glucose was 3.8 ± 1.0 mmol/L, and 3.7 ± 1.0 mmol/L for dry and lactating cows, respectively ($p > 0.05$). The concentration of cholesterol was 2.8 ± 0.6 mmol/L for dry cows, and 3.5 ± 1.1 mmol/L for lactating cows ($p < 0.05$). The concentration of β -hydroxybutyrates was 1.0 ± 1.0 mmol/L, and 1.3 ± 1.2 mmol/L for dry and lactating cows, respectively ($p < 0.05$). The fractions HDL and LDL presented a smaller participation in the total composition of the cholesterol in the postpartum period, while the fraction VLDL, represented as triacylglycerols, increased for the same period. Significant relationships were observed between the yield of milk and the concentration of glucose ($r = 0.14$; $p < 0.05$), and cholesterol ($r = 0.31$; $p < 0.05$). The concentration of glucose and cholesterol was related too ($r = 0.12$; $p < 0.05$). The concentration of β -hydroxybutyrates was correlated with the concentration of FFA ($r = 0.32$; $p < 0.05$). The concentration of cholesterol, β -hydroxybutyrates, and FFA were reliable indicators of the energy balance from one month prior to calving until the sixth week postpartum in dairy cows. During this week of lactation, the cow reach her metabolic balance after parturition.

Key words: *energetic metabolism, fresh cow, lactation.*

Referencias

1. Bauman DE, Curie WB. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J Dairy Sci* 1980; 63:1514-1529.
2. Bell AW. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J Anim Sci* 1995; 73:2804-2819.
3. Bertics SJ, Grummer RR, Cadorniga-Valino C, Stoddard EE. Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactation. *J Dairy Sci* 1992; 75:1914-1922.
4. Bremmer DR, Bertics SJ, Grummer RR. Differences in activity of hepatic microsomal triglyceride transfer protein among species. *Comp Biochem Physiol Part A* 1999; 124:123-131.
5. Bremmer DR, Christensen JO, Grummer RR, Rasmussen FE, Wiltbank MC. Effects of induced parturition and estradiol on feed intake, liver triglyceride concentration and plasma metabolites of transition dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82:1440-1448.
6. Bremmer DR, Trower SL, Bertics SJ, Besong SA, Bernabucci U, et al. Etiology of fatty liver in dairy cattle: effects of nutrition and hormonal status on hepatic microsomal triglyceride transfer protein. *J Dairy Sci* 2000; 83:2239-2251.
7. Buttler WR. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim Repr Sci.* 2000; vol 60-61:449-457.
8. Calamari L, Bertoni G, Maiati MG, Cappa V. Sull' utilità di nuovi parametric ematochimici nella valutazione del profilo metabolico delle lattifere. *Zoot nutri. anim.* 1989; Anno XV n. 3.
9. Ceballos A. El perfil metabólico para el diagnóstico de las alteraciones nutrición - fertilidad en rebaños lecheros. *Despertar Lechero* 1996; n. 13, p.7-23.
10. Ceballos A, Andaur M. Indicadores bioquímicos sanguíneos de los desequilibrios energéticos en ganado lechero. II Seminario Internacional en Reproducción y Metabolismo de la Vaca Lechera, Universidad de Caldas, Manizales, 1999.
11. Ferguson JD. Implementation of a body condition scoring program in dairy herds. The Pennsylvania State University Annual Conference, University of Pennsylvania, 1996.
12. Galligan DT, Ferguson JD. Feeding and managing the transition cow. The Pennsylvania State University Annual Conference, University of Pennsylvania, 1996.
13. Grummer, RR. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *J Dairy Sci* 1993; 75:3882-3896.
14. Grummer RR, Bertics SJ, Hackbart RA. Short communication: effects of prepartum milking on dry matter intake, liver triglyceride, and plasma constituents. *J Dairy Sci* 2000; 83:60-61.
15. Harrison RO, Ford SP, Young JW, Conley AJ, Freeman AE. Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cows. *J Dairy Sci* 1990; 73:2749-2758-
16. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. Clinical biochemistry of domestic animals. 5th ed., Academic Press, Inc. San Diego 1997. 932p.
17. Mayor AH, Campos R. Caracterización de indicadores energéticos en los perfiles metabólicos del ganado lechero. Tesis de grado, Carrera de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, 1998. 150p.
18. McClure TJ. Nutritional and metabolic infertility in the cow. Wallingford: C A B International, 1994. 128p.
19. National Research Council (NRC). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington, D.C. 1994. 381p.
20. Payne JM. Metabolic and nutritional diseases of cattle. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 1989; 149p.
21. Pearson ES, Stephens MA. The ratio of range to standard deviation in the same normal sample. *Biometrika* 1964; 51: 484 - 487.
22. Pechová A, Iller J, Halouzka R. Diagnosis and control of the development of hepatic steatosis in dairy cows in the postparturient period. *Acta Vet Brno* 1997; 66:235-243.
23. Rayssiguier Y, Mazur A, Gueux E. Plasma lipoprotein and fatty liver in dairy cows. *Res Vet Sci* 1988; 45:389-393.
24. Rivera B, Vargas JE, Arcila CP, Márquez R, Pérez JF, y col. Propuesta para la clasificación de sistemas de producción de leche: El caso de la zona de influencia de Manizales. *Rev. Sist. Prod.* v.10, n.1, p.83-103, sep. 1999.
25. Rukkamsuk T, Kruip TAM, Meijer GAL, Wensing T. Hepatic fatty acid composition in periparturient dairy cows with fatty liver induced by intake of a high energy diet in the dry period. *J Dairy Sci* 1999; 82:280-287.
26. Sevinç M, Baþođlu A, Öztok I, Sandıkçi M, Birdane F. The clinical-chemical parameters, serum lipoproteins and fatty infiltration of liver in ketotic cows. *Tr J Vet Anim Sci* 1998; 22:443-447.
27. Shaver, R. Feeding dairy cows during the transition period. The Colorado State University Dairy Nutritional Conference. Colorado State University, 1999.
28. Sommer H. The role of the metabolic profile test in the control of cattle feeding. *Magyar Állatorvosok Lapja* 1885; p. 714-717.
29. Spike TE. Recent strategies for managing the high producing dairy cow. The Colorado State University Dairy Nutritional Conference. Colorado State University, 1999.
30. Van den Top AM, van't Klooster A Th, Wensing Th, Wentink GH, Beynen AC. Liver triacylglycerol concentrations around parturition in goats with either pre-partum restricted or free access to feed. *Vet Quart* 1995; 17:54-59.
31. Vanderhaar MJ, Yousif G, Sharma BK, Herdt TH, Emery RS, y col. Effect of energy and protein density of prepartum diets on fat and protein metabolism of dairy

- cattle in the periparturient period. *J Dairy Sci* 1999; 82:1282-1295.
32. Vazquez-Añon M, Bertics S, Luck M, Grummer RR. Peripartum liver triglyceride and plasma metabolites in dairy cows. *J Dairy Sci* 1994; 77:1521-1528.
 33. Ward WR, Murray RD, White AR, Rees EM. The use of blood biochemistry for determining the nutritional status of dairy cows. Garnsworthy PC, y Cole DJA. 1995. *Recent advances in animal nutrition*. Nottingham University Press. Nottingham. 274p.
 34. Weisbrot IM. *Statistics for the clinical laboratory*. JB Lippincott Company, Philadelphia, USA. 1985. 198p.
 35. Whitaker DA, Kelly JM. The use and interpretation of metabolic profiles in dairy cows. I Curso de Divulgación en Técnicas de RIA y Evaluación de Metabolitos Sanguíneos y Cinéticas Digestivas Relacionadas en la Nutrición y Reproducción en Bovinos. Maracay, Venezuela, 1994.
 36. Wittwer FG, Tadich N, Blowey R. Variaciones en las concentraciones de algunos parámetros sanguíneos en vacas productoras de leche durante las primeras semanas de lactancia. *Vet Méx* 1983; 14:1983.
 37. Zar JH., *Biostatistical analysis*. 3rd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River: USA. 1996. 662p.