

Indicadores metabólicos en razas lecheras especializadas en condiciones tropicales en Colombia

Metabolic profile in dairy cows under tropical conditions in Colombia

Rómulo Campos G., Carolina Cubillos, Ángela G. Rodas

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, AA 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.
Autor para correspondencia, e-mail: rcamposg@palmira.unal.edu.co

REC: OCTUBRE 27/07. ACCEPT: MARZO 02/07

RESUMEN

Se ha seleccionado un alto número de razas bovinas para producción de leche, sin embargo, las de origen *Bos taurus* no han logrado adaptarse a las condiciones tropicales. El objetivo del trabajo fue analizar el comportamiento metabólico de siete razas (Ayrshire, Girolando, Holstein Friesian, Jersey, Lucerna, Pardo Suizo y Simmental) a través de 15 metabolitos. Se emplearon 28 animales por raza, distribuidos en cuatro grupos fisiológicos: novillas, inicio y final de lactancia y vacas secas (final de gestación). Los valores medios de los indicadores metabólicos fueron: BOH 0.5 mmol/l; glucosa 2.8 mmol/l; colesterol 2.5 mmol/l; potasio 4.1 mmol/l; calcio 2.0 mmol/l; fósforo inorgánico 1.7 mmol/l; magnesio 1.1 mmol/l; proteínas totales 66.2 mg/dl; albúmina 25.8 mg/dl; globulinas 40.2 mg/dl; creatinina 109 μ mol/l; BUN 3.8 mmol/l; ALT 32.2 UI/l; AST 56.6 UI/l; GGT 12.3 UI/l; bilirrubina total 0.2 μ mol/l; bilirrubina conjugada 0.08 μ mol/l. Los valores medios de la condición corporal y el hematocrito fueron 3.25% y 27.0% respectivamente. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre grupos raciales y entre grupos de producción. Los animales de menor peso metabólico (Jersey) presentaron mejor homeostasis que los de pesos mayores (Simmental, Holstein).

Palabras claves: Bovinos, metabolismo, razas lecheras, perfil metabólico

ABSTRACT

High numbers of bovine breeds have been selected as milk producers, but those derived from the *Bos taurus* breeds have been unable to adapt to tropical conditions. The aim of this work was to analyze the metabolic profile of the seven breeds (Ayrshire, Girolando, Holstein Friesian, Jersey, Lucerna, Brown Swiss and Simmental) through the use of 15 metabolites. For each breed, 28 animals were used, divided into four physiological different groups: heifers, cows from the first stages and last stages of the lactation process and dry cows. The mean values of metabolites indicators were as follow: BOH 0.5 mmol/l; glucose 2.8 mmol/l; cholesterol 2.5 mmol/l; potassium 4.1 mmol/l; calcium 2.0 mmol/l; inorganic phosphorus 1.7 mmol/l; magnesium 1.1 mmol/l; total protein 66.2 mg/dl; albumin 25.8 mg/dl; globulin 40.2 mg/dl; creatinine 109 μ mol/l; BUN 3.8 mmol/l; ALT 32.2 UI/l; AST 56.6 UI/l; GGT 12.3 UI/l; total bilirubin 0.2 μ mol/L; conjugate bilirubin 0.08 μ mol/L. Additionally, body condition and PCV were determined with average values of 3.25 and 27% respectively. A significant statistical difference was found among breeding groups and physiological groups for production. It was observed that those animals with a low metabolic weight (Jersey) demonstrate better homeostasis than those of high metabolic weight (Simmental, Holstein).

Key words: Bovine, metabolism, dairy cows, metabolic profile

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en los ecosistemas tropicales ha sido un continuo desafío técnico por las difíciles condiciones ambientales, sanitarias y la poca rusticidad de las razas especializadas. El costo energético para lograr la adaptación a temperaturas y humedades críticas

se refleja en problemas nutricionales y enfermedades metabólicas que elevan los costos de producción y generan menor volumen de leche por lactancia. Los grupos raciales llamados especializados son de origen *Bos taurus* y generalmente se han importado de Europa o Estados Unidos. La ganadería especializada constituye

el 11% del inventario bovino colombiano dedicado a la producción de leche y responde por el 45% del total de la producción (Corpoica, 1998; Holmann *et al.*, 2003).

Uno de los problemas con los animales de alto mérito genético en el trópico se origina en el bajo consumo de materia seca, producto tanto de la pobre calidad de muchos de los forrajes tropicales, como de la depresión del consumo por estrés calórico (Holmann *et al.*, 2003). Los cálculos para cubrir las necesidades nutricionales incluyen volumen de producción, composición química, peso del animal y tiempo de gestación (NRC, 2001), pero no reflejan condiciones básicas de adaptación al medio ni pérdidas debidas a la entropía del sistema. Algunas investigaciones han buscado precisar el estado metabólico real y la posible información predictiva sobre el comportamiento en producción, reproducción y calidad del producto (Cant, 2001); sin embargo, no se han efectuado en condiciones tropicales, ni comparando diversos grupos raciales (Campos, *et al.*, 2004).

El equilibrio dinámico regula metabólicamente la relación proteína:energía y el estatus de nutrición mineral, los cuales se pueden monitorear a través de metabolitos básicos (Payne & Payne, 1987). De cada una de las rutas metabólicas se pueden seleccionar indicadores bioquímicos específicos (González, 2000). Por otra parte, fallas en los procesos de ajuste fisiológico que requieren homeostasis ocasionan lesiones clínicamente no evidentes, pero que pueden apreciarse en diagnósticos serológicos dirigidos (Herdt, 2000). Así mismo, algunos estados metabólicos son afectados por los requerimientos específicos de compuestos nutricionales; por esto la determinación de los principales minerales que participan en los procesos homeostáticos constituye una valiosa herramienta de seguimiento de la suplementación mineral y factor de conocimiento de posibles causas de comportamiento reproductivo y productivo (Underwood & Suttle, 1999). El perfil metabólico en su conjunto ayuda a valorar el estatus nutricional y refleja la dinámica bioquímica del animal y es una herramienta para la comprensión de la nutrición y la dinámica metabólica (Payne & Payne, 1987). Aun en condiciones de homeorresis los animales muestran tendencias en el comportamiento de las vías metabólicas, por tanto, se ha postulado que los indicadores metabólicos pueden ser una herramienta fundamental para estudiar el desempeño fisiológico de grupos raciales en condiciones de difícil regulación térmica (Campos, 1998).

La tendencia mundial hacia la producción de leche a partir de forrajes, la competitividad internacional que

presiona la reducción en los costos de producción y la expansión de la frontera agrícola dan una oportunidad a los países de la franja tropical para producir leche de calidad en forma competitiva (Ibarra, 2004). Esta oportunidad debe ir acompañada de mejoras genéticas y sanitarias que posibiliten que animales tradicionalmente desarrollados en condiciones de zonas templadas puedan aportar sus genes en la producción de leche en el trópico.

El objetivo del presente trabajo fue determinar indicadores del metabolismo bioquímico en grupos raciales especializados en producción de leche en ambientes tropicales, distribuidos en cuatro grupos fisiológicos de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron siete grupos raciales (Ayrshire, Girolando, Holstein Friesian, Jersey, Lucerna, Pardo Suizo y Simenthal) correspondientes a las principales razas lecheras especializadas empleadas en los sistemas de producción en condiciones tropicales del suroeste de Colombia. La zona agroecológica correspondió a bosque seco montano bajo en la clasificación de Holdridge, con temperaturas entre los 24-31°C, alturas sobre el nivel del mar entre los 49 y 991 m, humedades relativas entre 60-80% en los ejes comprendidos entre los 32-33° de latitud norte, y los 71-74° de longitud oeste (Espinal, 1990). De cada raza se seleccionaron 28 animales distribuidos en cuatro grupos fisiológicos de producción (novillas, vacas en inicio y final de lactancia, y período seco), cada grupo contó con siete animales. El volumen medio de producción estuvo en 19 l/día. Mediante venipunción coccígea y sistema vacutainer a cada animal se le recolectó sangre en tubos con anticoagulante y sin él (EDTA). Al momento de la recolección de la muestra se valoró la condición corporal del animal (escala 1-5). La glucosa se determinó mediante química seca (Glucometer, Bayer®). El suero y el plasma se obtuvieron mediante centrifugación a 2.500 rpm durante cinco minutos y se almacenaron a -20°C hasta el momento de los análisis. Mediante técnicas enzimáticas colorimétricas específicas se analizaron los siguientes metabolitos: beta hidroxibutirato (BHB), colesterol, glucosa, bilirrubina total y directa, creatinina, nitrógeno ureico sanguíneo (BUN), proteína total, albúmina, alanina amino transferasa (ALT), aspartato amino transferasa (AST), gamma-glutamyl transferasa (GGT), calcio, fósforo inorgánico, magnesio y potasio, adicionalmente se determinó hematocrito. Por diferencia entre proteínas totales y albúmina se obtuvo el valor de globulina.

Los resultados obtenidos se almacenaron en una base de datos y se analizaron estadísticamente a través de pruebas de correlación de Pearson y análisis de variancia a través del procedimiento GLM del programa estadístico SAS (Cary, NC). El modelo planteado buscó probar la hipótesis del diferente comportamiento de los valores de los metabolitos en relación con la raza y con los grupos fisiológicos de producción. Igualmente se efectuó estadística descriptiva y pruebas de comparación de medias (prueba de Tukey) entre los grupos raciales y de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se pueden observar los valores medios y la desviación estándar de los indicadores

correspondientes a las rutas metabólicas del metabolismo energético, metabolismo proteico y nitrogenado, metabolismo mineral e indicadores de la función hepática respectivamente, para los principales grupos raciales especializados en la producción de leche en condiciones tropicales en el suroccidente de Colombia. La Tabla 5 presenta los resultados de los diferentes indicadores evaluados para los cuatro grupos fisiológicos de producción seleccionados en el estudio.

Los indicadores del metabolismo energético (Tabla 1) presentaron valores dentro de los estándares nacionales e internacionales para animales seleccionados para producción de leche (Wittwer, 1994; Cubillos, 1999). Las correlaciones estadísticas entre los indicadores fueron significativas ($p < 0.01$).

Tabla 1. Valor medio y desviación estándar de los indicadores del metabolismo energético y la condición corporal en siete razas especializadas en producción de leche en condiciones tropicales.

	BHB nmol/L	Glucosa nmol/L	Colesterol nmol/L	Condición corporal
Ayrshire	0.6 ^{a,b} ± 0.4	3.1 ^c ± 0.5	3.4 ^c ± 1.6	3.5 ^{c,d} ± 0.5
Girolando	1.1 ^c ± 0.6	3.1 ^c ± 0.4	3.5 ^c ± 1.1	3.7 ^d ± 0.5
Holstein	0.3 ^a ± 0.3	2.9 ^{b,c} ± 0.4	2.1 ^{a,b} ± 1.2	3.0 ^{a,b} ± 0.5
Jersey	0.4 ^{a,b} ± 0.9	3.2 ^c ± 0.5	2.3 ^{a,b} ± 1.1	2.7 ^a ± 0.5
Lucerna	0.6 ^b ± 0.3	2.4 ^a ± 0.6	2.7 ^{b,c} ± 1.2	3.5 ^{b,c,d} ± 0.5
Pardo Suizo	0.4 ^{a,b} ± 0.3	2.6 ^{a,b} ± 0.5	1.8 ^{a,b} ± 1.0	3.2 ^{b,c} ± 0.5
Simenthal	0.4 ^{a,b} ± 0.3	2.6 ^{a,b} ± 0.4	1.4 ^a ± 0.9	3.2 ^{b,c,d} ± 0.5
P	0.000	0.000	0.000	0.000

Columnas con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$)

Tabla 2. Valor medio y desviación estándar de los indicadores del metabolismo proteico y nitrogenado, y hematocrito en siete razas especializadas en producción de leche en condiciones tropicales.

	Pro.Total* g/L	Albúmina g/L	Globulina g/L	Creatinina μmol/L	BUN** mmol/L	HTO*** %
Ayrshire	67.6 ^b ± 2.8	26.2 ^b ± 2.2	41.4 ^{b,c} ± 2.9	93.5 ^{a,b} ± 34.2	4.0 ^{b,c} ± 1.1	28.8 ^c ± 3.8
Girolando	66.2 ^{a,b} ± 2.7	25.8 ^{a,b} ± 4.3	40.4 ^{a,b,c} ± 3.3	137.6 ^c ± 48.5	2.8 ^a ± 1.3	32.6 ^d ± 3.7
Holstein	66.2 ^{a,b} ± 2.7	25.8 ^{a,b} ± 4.4	40.37 ^{a,b,c} ± 4.1	105.4 ^{a,b} ± 35.6	3.7 ^{b,c} ± 1.1	25.7 ^{a,b} ± 2.9
Jersey	63.7 ^a ± 4.9	27.2 ^b ± 3.1	36.5 ^a ± 5.7	77.1 ^a ± 29.9	3.27 ^{a,b} ± 1.1	24.2 ^a ± 3.2
Lucerna	65.4 ^{a,b} ± 3.2	25.8 ^{a,b} ± 4.4	39.6 ^{a,b} ± 4.9	118.5 ^{b,c} ± 49.3	3.5 ^{a,b,c} ± 1.1	27.7 ^{b,c} ± 3.3
Pardo Suizo	67.1 ^b ± 2.2	27.0 ^b ± 6.4	39.0 ^{a,b} ± 8.69	108.8 ^{a,b,c} ± 46.2	5.0 ^d ± 1.0	25.2 ^{a,b} ± 3.3
Simenthal	67.1 ^b ± 2.7	22.7 ^a ± 3.9	44.4 ^c ± 3.5	122.3 ^{b,c} ± 30.9	4.2 ^{c,d} ± 1.0	26.9 ^{a,b,c} ± 3.9
P	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000

Columnas con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$)

* Pro. Total = proteínas plasmáticas totales, ** BUN = Nitrógeno ureico sanguíneo, *** HTO = Hematocrito. μmol/L

Tabla 3. Valor medio y desviación estándar de los indicadores del metabolismo mineral en siete razas especializadas en producción de leche en condiciones tropicales.

	Potasio mmol/L	Calcio mmol/L	Fósforo mmol/L	Magnesio μmol/L
Ayrshire	4.02 ^a ±0.4	1.88 ^{a,b} ±0.2	1.85 ^{c,d} ±0.3	0.47 ^a ±0.1
Girolando	4.12 ^a ±0.4	2.11 ^c ±0.4	1.54 ^{a,b} ±0.3	0.5 ^a ±0.1
Holstein	4.12 ^a ±0.4	1.82 ^a ±0.3	1.43 ^a ±0.4	0.39 ^a ±0.1
Jersey	3.85 ^a ±0.4	2.04 ^{a,b,c} ±0.2	1.76 ^{b,c,d} ±0.4	0.44 ^a ±0.1
Lucerna	4.11 ^a ±0.4	2.03 ^{a,b,c} ±0.3	1.61 ^{a,b,c} ±0.3	0.43 ^a ±0.1
Pardo Suizo	4.63 ^b ±0.8	2.08 ^{b,c} ±0.22	1.91 ^d ±0.4	0.51 ^a ±0.3
Simenthal	3.95 ^a ±0.4	1.95 ^{a,b,c} ±0.2	1.94 ^d ±0.3	0.44 ^a ±0.2
P	0.000	0.000	0.000	0.138

Columnas con letras diferentes difieren significativamente (p<0.05)

Tabla 4. Valor medio y desviación estándar de los indicadores de la función hepática en siete razas especializadas en producción de leche en condiciones tropicales.

	ALT UI/L	AST UI/L	GGT UI/L	Bil*.Total μmol/L	Bil*.Conjugada μmol/L
Ayrshire	32.9 ^a ±12.7	50.9 ^{a,b} ±15.24	10.2 ^{a,b} ±4.4	0.13 ^{a,b} ±0.1	0.06 ^{a,b} ±0.05
Girolando	37.1 ^a ±14.7	73.3 ^d ±27.14	11.7 ^c ±3.7	0.4 ^c ±0.1	0.11 ^b ±0.09
Holstein	26.5 ^a ±9.6	38.1 ^a ±14.9	17.6 ^d ±5.6	0.2 ^{a,b} ±0.1	0.09 ^{a,b} ±0.05
Jersey	35.9 ^a ±15.6	57.4 ^{b,c} ±14.9	7.8 ^a ±5.9	0.2 ^{a,b} ±0.1	0.05 ^a ±0.05
Lucerna	33.0 ^a ±16.7	58.7 ^{b,c} ±16.9	13.9 ^{c,d} ±4.3	0.2 ^b ±0.1	0.07 ^{a,b} ±0.06
Pardo Suizo	29.1 ^a ±9.7	52.6 ^{b,c} ±16.0	14.7 ^{c,d} ±5.9	0.2 ^b ±0.1	0.07 ^{a,b} ±0.07
Simenthal	32.8 ^a ±20.4	65.5 ^{c,d} ±16.7	10.1 ^{a,b} ±4.1	0.1 ^a ±0.1	0.11 ^b ±0.06
P	0.165	0.000	0.000	0.000	0.004

* Bilirrubina

Columnas con letras diferentes difieren significativamente (p<0.05)

Fisiológicamente se encuentran valores basales de BHB producto de la fermentación ruminal, sin embargo, el aumento de la concentración se origina en la movilización de tejido adiposo como respuesta al balance energético negativo (BEN), situación frecuente en la primera fase de la lactancia (Enjalbert *et al.*, 2001). En el presente trabajo, los grupos raciales que presentaron condición corporal más elevada en el período seco, mostraron igualmente altos valores de BHB, como fue el caso de la raza Girolando. Los valores de BHB se encontraron dentro de los valores de referencia (Kaneko *et al.*, 1997; Lago *et al.*, 2004). Posiblemente la media de producción de leche no requiera alta movilización de reservas corporales para

garantizar la lactancia, como ocurre en animales de elevadas producciones. Los valores de glucosa para todos las razas se situaron en el límite inferior de referencia (González, 1997; Lago *et al.*, 2004), al asociar este resultado con la producción media de leche/día es posible deducir deficiencia de energía en la ración. Este hecho contrasta con la relativa buena condición corporal del conjunto de animales (media de 3.25), lo cual supone que el efecto de medición puntual de los valores de glucosa no es el mejor parámetro indicador del balance energético en sí, debido al control homeostático sobre la glucosa (Reist *et al.*, 2002). Existe la posibilidad de que la baja condición corporal en el período inicial de la lactancia sea producto de que los animales al momento

del muestreo estaban en un período de alta demanda y de marcado BEN, esto, porque en forma general y por el limitado número de animales en las explotaciones, dentro del período inicial se consideraron animales entre la tercera semana post-parto y la decimoquinta semana de lactación. Otros trabajos informan de pérdida en la condición corporal en las primeras semanas de la lactación (Aeberhard *et al.*, 2001; Busato *et al.*, 2002), situación también observada en el presente trabajo (Tabla 5), aun cuando ésta no presentó elevada intensidad. El colesterol para algunos grupos raciales mostró valores inferiores a los de referencia (Wittwer, 1994; Kaneko *et al.*, 1997). Los bajos valores de colesterol se asocian con menor síntesis de hormonas esteroides, entre ellas estrógenos y progesterona (Staples *et al.*, 1992; Reist *et al.*, 2002), lo cual estaría influyendo en el comportamiento reproductivo de las vacas de alta producción, normalmente señaladas por deficientes índices reproductivos (Francisco *et al.*, 2003).

Los indicadores del metabolismo proteico y nitrogenado (Tabla 2) se encontraron dentro de los “valores de referencia” normalmente informados para diferentes razas bovinas (Campos *et al.*, 2004; Kaneko *et al.*, 1997). Como se esperaba, se presentó correlación matemática significativa ($r = 0.78$, $p < 0.01$) entre albúmina y globulina. En general, los valores de las correlaciones fueron moderados (entre 0.4 y 0.7) y significativos ($p < 0.01$). La albúmina presentó los indicadores de correlación más bajos.

Los valores de proteína total plasmática revelan adecuada síntesis proteica. Sin embargo, los valores significativamente inferiores de albúmina pueden atribuirse a menor habilidad hepática en captación específica de aminoácidos. Así mismo, los valores altos de globulinas se correlacionaron con bajos niveles de albúmina (González *et al.*, 2001). Es claro que la mayor exposición a factores generadores de reacciones de respuesta inmune como ecto y endoparásitos típicos del trópico inducen

Tabla 5. Valor medio y desviación estándar de los indicadores metabólicos del metabolismo: energético, proteico y nitrogenado, mineral y evaluadores de la función hepática para cuatro grupos fisiológicos de producción.

		Novillas	Inicio lactancia	Final lactancia	Período seco	p
Metabolismo Energético						
BHB	mmol/L	0.38 ^a ± 0.1	0.77 ^b ± 0.61	0.57 ^a ± 0.4	0.45 ^a ± 0.3	0.000
Glucosa	mmol/L	3.23 ^c ± 0.5	2.54 ^a ± 0.5	2.81 ^b ± 0.5	2.77 ^{a,b} ± 0.5	0.000
Colesterol	nmol/L	2.14 ^a ± 0.9	2.57 ^{a,b} ± 0.5	3.23 ^b ± 1.7	1.98 ^a ± 0.8	0.000
Condición Corporal		3.25 ^{a,b} ± 0.5	3.0 ^a ± 0.5	3.25 ^{a,b} ± 0.5	3.5 ^b ± 0.5	0.007
Metabolismo Proteico						
Albúmina	g/L	24.8 ^a ± 1.7	24.27 ^a ± 1.07	29.2 ^b ± 7.1	24.87 ^a ± 1.8	0.000
Proteína total	g/L	63.8 ^a ± 3.9	66.6 ^b ± 2.3	65.5 ^b ± 3.2	68.8 ^c ± 0.8	0.000
Globulina	g/L	39.1 ^b ± 4.1	42.3 ^c ± 1.8	35.7 ^a ± 7.7	43.9 ^c ± 1.4	0.000
Creatinina	μmol/L	88.5 ^a ± 34.5	105.5 ^{a,b} ± 44	118 ^b ± 40.5	124.2 ^b ± 46.6	0.000
BUN*	mmol/L	3.72 ^a ± 1.4	3.95 ^a ± 0.7	3.61 ^a ± 1.3	3.86 ^a ± 1.5	0.566
Hematocrito		28.2 ^a ± 4.8	25.8 ^a ± 5.01	25.8 ^a ± 3.9	28.2 ^a ± 4.07	0.003
Metabolismo Mineral						
Potasio	mmol/L	4.31 ^c ± 0.4	4.0 ^b ± 0.22	4.42 ^c ± 0.8	3.73 ^a ± 1.4	0.000
Calcio	mmol/L	2.19 ^c ± 0.2	1.93 ^b ± 0.11	1.76 ^a ± 0.3	2.07 ^c ± 0.2	0.000
Fósforo	mmol/L	1.91 ^b ± 0.4	1.6 ^a ± 0.4	1.66 ^a ± 0.3	1.71 ^a ± 0.3	0.000
Magnesio	mmol/L	0.97 ^a ± 0.14	1.01 ^a ± 0.19	1.27 ^b ± 0.7	1.14 ^{a,b} ± 0.4	0.002
Indicadores de la Función Hepática						
ALT	UI/L	28.3 ^b ± 12.4	22.85 ^a ± 3.7	28.8 ^{a,b} ± 3.0	51.9 ^c ± 12.9	0.000
AST	UI/L	57.1 ^a ± 19.6	58.6 ^a ± 11.8	51.6 ^a ± 14.1	59.3 ^a ± 30.6	0.227
GGT	UI/L	9.75 ^a ± 2.2	12.9 ^b ± 5.6	12.5 ^{a,b} ± 5.9	14.02 ^b ± 6.5	0.001
Bilirrubina Total**		0.19 ^a ± 0.16	0.2 ^a ± 0.18	0.23 ^a ± 0.15	0.21 ^a ± 0.18	0.817
Bilirrubina conjugada**		0.06 ^{a,b} ± 0.06	0.12 ^c ± 0.07	0.05 ^a ± 0.05	0.08 ^{b,c} ± 0.05	0.000

Filas con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$)

*Nitrógeno ureico sanguíneo; ** unidades en μmol/L

mayor síntesis de globulinas. Igualmente, Flint (1995) comunica mayor susceptibilidad de las vacas durante la lactación, efecto que estaría incidiendo en la respuesta inmune de los animales en el inicio de la lactación.

Los valores de creatinina, compuesto nitrogenado no proteico de uso común en la evaluación de la función de excreción renal (Gregory *et al.*, 2004), fueron más bajos en los animales de menor peso (Jersey, Ayrshire). Los animales con mayor tendencia a cambios metabólicos de peso y a mayor catabolismo de tejido muscular mostraron los mayores valores (Simenthal, Girolando). Todos los valores encontrados se encuentran dentro de las referencias internacionales, excepto la raza Jersey, que estuvo 13 mg/dl abajo del valor mínimo (Wittwer, 1994). En esta misma raza, el valor de la condición corporal fue el más bajo. Posiblemente el bajo valor de creatinina esté asociado con la condición corporal, porque la movilización de tejido adiposo y muscular reflejada en los niveles bajos de reservas pudo ocasionar la caída de la creatinina por aumento de la tasa de excreción durante el período de pérdida de condición corporal. La prueba de correlación de Pearson entre creatinina y condición corporal fue alta y significativa ($r = 0.66$, $p < 0.01$), lo cual confirma la relación entre las dos variables. Entre los grupos fisiológicos de producción (Tabla 5) las novillas presentaron los menores valores de creatinina y la menor pérdida de condición corporal.

Los valores de nitrógeno ureico sanguíneo (BUN) no indicaron elevada ingestión de proteína bruta, ni marcados desbalances de la relación proteína:energía en la ración. Únicamente la raza Pardo Suizo presentó valores altos, aun cuando estos estuvieron dentro de los valores reconocidos como "normales". Altos valores de BUN se relacionan con pérdida de la eficiencia reproductiva (Hammon *et al.*, 2005).

En producción animal tropical la determinación del hematocrito puede ser una opción importante de evaluación de estados carenciales y patológicos en forma oportuna y económica (Campos, 1998). La presencia de hemoparásitos en bovinos ocasiona elevadas pérdidas tanto por la mortalidad derivada, como por la reducción de habilidad productiva, en especial para animales de origen *Bos taurus*. Los valores hallados en el presente trabajo muestran que existe una situación latente de problemas hemáticos, evidenciada por hematocrito bajo, típica de cuadros de anemia subclínica. La única raza que presentó un valor elevado de hematocrito fue la Girolando, lo cual se explica por el vigor híbrido y por la resistencia natural aportada por los genes *Bos indicus*. Es importante la comprobación de que las razas especializadas requieren mayor atención en la

evaluación clínica y subclínica de las enfermedades infecciosas y nutricionales que pueden originar anemia, como se observó en el presente trabajo, donde de siete razas lecheras, seis de ellas mostraron niveles de hematocrito significativamente por debajo del valor de referencia (Ortolani, 2002).

El potasio, calcio, fósforo inorgánico y magnesio estuvieron dentro de los valores de referencia (Kaneko *et al.*, 1997; Wittwer, 1994). Teóricamente la relación calcio:fósforo es de 2:1, sin embargo, con mayor frecuencia los trabajos más recientes indican que esto es solo un marco conceptual y que alteraciones en dicha relación no afectan los comportamientos productivos de los animales (Tokarnia *et al.*, 1988; González, 2000). Entre los minerales analizados se presentaron correlaciones significativas, con excepción de la relación calcio:fósforo. El calcio correlacionó negativamente con potasio ($r = -0.261$, $p < 0.01$) y con el magnesio ($r = -0.2$, $p < 0.01$). Los menores valores de calcio y fósforo correspondieron a la raza Holstein, posiblemente por la mayor producción de leche y la composición química de la misma (Bachman, 1992). Esta situación puede ser una de las causas de la mayor incidencia de hipocalcemia registrada para la raza Holstein (Grummer, 2002). Los valores de magnesio para las condiciones colombianas fueron adecuados (Campos *et al.*, 2004; Ceballos *et al.*, 2004); sin embargo, cuando se comparan con los de países de la zona templada se sitúan en los niveles inferiores del rango de referencia (Kaneko *et al.*, 1997; Weiss, 2004), no obstante, en dichos países las estaciones alteran la dinámica suelo-planta-animal, lo cual genera en ciertas épocas del año la presentación de cuadros clínicos manifiestos de hipomagnesemia, situación que no se observa con frecuencia en Colombia (Campos *et al.*, 2004). Los valores de fósforo estuvieron dentro de los valores normales y no se sospecha de excesos de suplementación de fósforo, como han sugerido Ceballos y colaboradores (2004).

Los indicadores de función hepática (Tabla 4) presentaron valores dentro de los aceptados como referencia (Kaneko *et al.*, 1997; Scheffer 2003); aun cuando ALT no sea específica del hígado, su determinación es necesaria para diferenciar las alteraciones hepáticas de las musculares, situaciones que se pueden presentar en bovinos, especialmente en el post-parto. Los valores de AST que evalúa con mayor precisión alteraciones hepáticas fueron inferiores a algunos trabajos (Kaneko *et al.*, 1997; Scheffer, 2003) y concordaron con otros (Aeberhard *et al.*, 2001; Lago *et al.*, 2004). Los resultados de las determinaciones de ALT y AST permiten afirmar que no se evidenciaron problemas hepáticos que

puedan originar baja síntesis de glucosa o albúmina. La determinación de GGT y del conjunto de bilirrubina directa y conjugada comprobó que la función hepática no presentó alteraciones ni en la síntesis de metabolitos, ni en la conjugación de compuestos que pudieran alterar la homeostasia de los animales evaluados. Aun encontrando los indicadores de la función hepática dentro de los parámetros normales, es aconsejable la determinación rutinaria de ellos para evaluar el estado de salud y la dinámica metabólica de los animales en las diferentes fases de producción, en especial, cuando en condiciones tropicales se presentan alteraciones patológicas de origen parasitario y nutricional que pueden disminuir sensiblemente la eficiencia de síntesis y secreción de compuestos por parte del hígado (González, 1997). En la búsqueda de indicadores, las pruebas de correlación mostraron alta significancia ($p < 0.01$) tanto entre las enzimas, como entre éstas y la bilirrubina; sin embargo, los coeficientes de relación se pueden considerar como débiles a moderados (0.207 y 0.503), esta situación y la poca ayuda real de la bilirrubina como metabolito (Kaneko, *et al.*, 1997) permite prescindir de ella en próximos trabajos.

Con relación al grupo de producción los valores de glucosa en el nivel inferior lo presentaron los animales en inicio de lactancia (2.54 mmol/l), lo cual refleja el Balance Energético Negativo (BEN) que animales de alta producción exhiben para soportar la lactancia, el mayor valor se presentó en animales en crecimiento (novillas) que de acuerdo con Margolles (1983) se explica por el tipo de demanda fisiológica y las especiales condiciones de fermentación ruminal, donde la suplementación con carbohidratos es alta en los grupos de producción y no en novillas. Las concentraciones de BHB, en el grupo de inicio de lactancia (0.77 mmol/l) confirman la movilización de tejido adiposo en respuesta al déficit energético (Enjalbert, *et al.*, 2001). Con respecto al colesterol el valor más bajo lo presentó el grupo de animales en período seco (1.98 mmol/l), explicado por la tendencia del animal a mantener síntesis de lípidos como tejido de reserva, disminuyendo la formación de colesterol cuya demanda no es alta en dicho período fisiológico (Aeberhard, *et al.*, 2001). El mayor valor se presentó en el grupo de animales de final de lactancia, lo cual se explica por la circulación de colesterol como precursor de síntesis de hormonas esteroidales requeridas para el mantenimiento de la preñez (síntesis de progesterona por la placenta) (Flint, 1995).

Los metabolitos indicadores del estatus proteico, mineral e indicadores de la función hepática presentaron oscilaciones entre los diferentes grupos, de acuerdo con

la fase fisiológica, de tal forma que a mayor demanda metabólica (inicio de lactancia) mayor variación en los indicadores (Tabla 5). La utilidad en la determinación en diferentes grupos fisiológicos permite comprender mejor el manejo del rebaño en su conjunto y produce informaciones adecuadas e integradas a través de las cuales puedan producirse cambios o ajustes en el manejo alimentario, nutricional y sanitario, concordando con la propuesta de examen nutricional de Payne & Payne (1987).

Aun cuando el análisis de los indicadores metabólicos no es un examen nutricional *per se*, ya que los metabolitos sanguíneos no son buenos indicadores de la condición nutricional de los individuos, señalan cuándo se ha alterado la capacidad de homeostasia, por lo cual son indicadores del balance metabólico en los animales (Hoff & Cote, 1988). El Perfil Metabólico complementa las indicaciones del balance nutricional. El número de variables potencialmente factibles de medir en un perfil metabólico es ilimitado, en la práctica sólo se utilizarían aquellos de los que se dispone de adecuado conocimiento sobre la bioquímica y el papel fisiológico, informaciones que permiten interpretar los resultados obtenidos. Por otra parte, también se requieren métodos y equipos que hagan económicamente factible la determinación y de valores de referencia que permitan comparar los resultados (Wittwer, 1994).

CONCLUSIONES

Los valores de referencia hallados para metabolitos bioquímicos indicadores del metabolismo energético, proteico, mineral y función hepática, en cuatro grupos fisiológicos en siete razas bovinas especializadas para producción de leche en condiciones tropicales, constituyen información básica para trabajos en patología clínica y fisiología de la adaptación. Los valores hallados constituyen referencia para bovinos lecheros.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aeberhard, K.; Bruckmaier, R. M.; Blum, J. W. (2001). Metabolic, Enzymatic and Endocrine Status in High-Yielding Dairy Cows - Part 2. *J. Vet. Med. A* 48, 111-127.
2. Bachman, K.C. (1992). Managing Milk Composition. In: Van Horn, H.H.; Wilcox, C.J. (eds). *Large Dairy Herd Management*, Champaign. pp 336-346
3. Busato, A.; Faissler, D.; Küpfer, U.; Blum, J. (2002). Body Condition Scores in Dairy Cows: Associations with Metabolic and Endocrine Changes in Healthy Dairy Cows. *J. Vet. Med. A* 49, 455-460.
4. Campos, R. (1998). Valores de referencia para algunos metabolitos de importancia en los procesos de homeostasis del ganado

- lechero en el Valle del Cauca. Trabajo de promoción docente. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 125p.
5. Campos, R. *et al.* (2004). Perfil metabólico de vacas nativas colombianas. *Revista Orinoquia*. 8 (2): 32-41.
 6. Cant, J. P. (2001). Modeling Milk Composition. University of Guelph. Guelph, 1-8.
 7. Ceballos, A.; Villa, N.; Betancourth, T.; Roncancio, D. (2004). Determinación de la concentración de calcio, fósforo y magnesio en el periparto de vacas lecheras en Manizales, Colombia. *Rev Col Cien Pec* 17[2], 125-133.
 8. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) (1998). Principales avances en investigación y desarrollo tecnológico para sistemas de producción pecuaria. Corpoica 5 años. Bogotá.
 9. Cubillos, C. (1999). Perfil metabólico en diferentes grupos raciales bovinos lecheros ubicados en el valle geográfico del río Cauca. Trabajo de grado (Zootecnia), Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 110p.
 10. Enjalbert, F.; Nicot, M. C.; Bayourthe, C.; Moncoulon, R. (2001). Ketone Bodies in Milk and Blood of Dairy Cows: Relationship between concentrations and utilization for detection of subclinical Ketosis. *J. Dairy Sci.* 84, 583-589.
 11. Espinal, L.S. (1990). Zonas de vida de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 90p.
 12. Flint, D. (1995). Immunomodulation of Lactation. *Livestock Prod. Sci.* 42, 201-206.
 13. Francisco, C. C.; Spicer, L. J.; Payton, M. E. (2003). Predicting Cholesterol, Progesterone, and days to Ovulation using postpartum metabolic and endocrine measures. *J. Dairy Sci.* 86, 2852-2863.
 14. González, F.H.D. (1997). O Perfil Metabólico no Estudo de Doenças da Produção em Vacas leiteiras. *Arq.Fac.Vet.UFRGS* 25[2], 13-33.
 15. González, F.H.D. (2000). Uso do Perfil Metabólico no Diagnóstico de Doenças Metabólico-Nutricionais em Ruminantes. In: González, F.; Barcellos, J.; Ospina, H.; Ribeiro, L (eds). *Perfil Metabólico em Ruminantes*, Porto Alegre: RS: UFRGS. pp 89-106.
 16. González, F.H.D.; Conceição, T. R.; Siqueira, A. J. S.; La Rosa, V. L. (2001). Variações Sanguíneas de Uréia, Creatinina, Albumina e Fósforo em bovinos de corte no Rio Grande do Sul. *Hora Vet.* 117, 59-62.
 17. Gregory, L.; Birgel, E. H. Jr.; D'angelo, J. L.; Benesi, F. J.; Araujo, W. P.; Birgel, E. H. (2004). Valores de referencia dos teores séricos de uréia e creatinina em bovinos da raça Jersey criados no estado de Sao Paulo. Influencia dos fatores etários, sexuais e da infeccao pelos virus da leucose dos bovinos. *Arq. Inst.Biol.Sao Paulo* 71[3], 339-345.
 18. Grummer, R. R. (2002). Monitoramento de Desordens Metabólicas Periparto. In: Grummer, R.R. (ed). *Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos*. Uberlândia, MG, 35-42.
 19. Hammon, D. S.; Holyoak, G. R.; Dhiman, T. R. (2005). Association between blood plasma urea nitrogen levels and reproduction fluid urea nitrogen and ammonia concentrations in early lactation dairy cows. *Animal Reprod. Sci.* 86, 195-204.
 20. Herdt, T. H. (2000). Variability Characteristics and Test Selection in Herd Level Nutritional and Metabolic Profile Testing. *Veterinary Clin North America: Food Animal Practice*. 16 (2): 387-403.
 21. Holmann, F.; Rivas, L.; Carulla, J.; Giraldo, L.A.; Guzmán, S.; Martínez, M.; Rivera, B.; Medina, A.; Farrow, A. (2003). Evolución de los sistemas de producción de leche en el trópico latinoamericano y su interrelación con los mercados: Un análisis del caso colombiano. CIAT-Consortio TropicLeche. Cali, 53p.
 22. Hoff, B.; Cote, J. (1988). Guidelines for the submission of metabolic profiles in problem dairy herds. *Anim. Ind. Branch*, 368. p. 1-8.
 23. Ibarra, A. A. (2004). Sistema de pagamento do leite por qualidade, visão global. p. 72-87. In: Dürr, J. W., Carvalho, M., Santos, M. V. (eds) *Congresso Brasileiro de Qualidade do Leite*, 1, Passo Fundo, RS.
 24. Kaneko, J.J.; Harvey, J.W.; Bruss, M.L. (1997). *Clinical biochemistry of domestic animals*. San Diego, Academic Press, 932p.
 25. Lago, E. P.; Costa, A. P. D.; Pires, A. V.; Susin, I.; Farías, V. P.; Lago, L. A. (2004). Parametros Metabólicos em vacas leiteiras durante o período de transição pós-parto. *Braz J Vet Sc* 11[1/2], 98-103.
 26. Margolles, E. (1983). Metabolitos Sanguíneos en Vacas Altas Productoras Durante la Gestación-Lactancia en las Condiciones de Cuba y su Relación con Trastornos del Metabolismo. *Rev. Cub.Cienc.Vet.* 14, 221-230.
 27. National Academy of Sciences. NRC (2001). *Nutrient Requirements in Dairy Cattle*, 7th rev. ed., Washington D.C.
 28. Ortolani, E. (2002). Diagnóstico de Doenças Nutricionais e Metabólicas por Meio de Exame de urina em Ruminantes. In: González, F.D. (ed.). *Avaliação Metabólico-Nutricional de Vacas Leiteiras por meio de Fluidos Corporais*. pp 18-26. Gramado, RS.
 29. Payne, J.M.; Payne, S. (1987). *The metabolic profile test*. Oxford University Press. 179p.
 30. Reist, M.; Erdin, D.K.; VonEuw, D.; Tschümperlin, K.M.; Leuenberger, H.; Hammon, H.M.; Morel, C.; Philipona, C.; Zbinden, Y. (2002). Postpartum Reproductive Function: Association With Energy, Metabolic and Endocrine Status in High Yielding Dairy Cows. *Theriogenology* 59 1707-1723.
 31. Scheffer, J.F. (2003). *Enzimologia Clínica em Medicina Veterinária*. Monografia Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 23p.
 32. Staples, C.R.; Thatcher, W.W.; Garcia-Bojalil C.M.; Lucy, M.C. (1992). Nutritional Influences on Reproductive Function. In: Van Horn; H.H.; Wilcox, C.J. (eds). *Large Dairy Herd Management*, pp 382-392. Champaign.
 33. Tokarnia, C. H.; Döbereiner, J.; Moraes, S. (1988). Situação atual e perspectivas da investigação sobre nutrição mineral em bovinos no Brasil. *Pesq. Vet. Bras.* 8, 1-16.
 34. Underwood, E.J.; Suttle, N.F. (1999). *Mineral nutrition of livestock*. CAB International, Edinburgh, UK. 456p.
 35. Weiss, W. P. (2004). Macromineral digestion by lactation dairy cows: Factor affecting digestibility of magnesium. *J Dairy Sci* 87, 2167-2171.
 36. Wittwer, F. (1994). Diagnóstico de desbalances metabólicos nutricionales en animales de producción. In: Congreso Nacional de divulgación en técnicas de RIA y evaluación de metabolitos sanguíneos y cinéticas digestivas relacionadas con nutrición y reproducción. Maracay, 1, Venezuela.