



Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

ISSN: 0120-0690

rccpecuarias@rccp.udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Colombia

Galvis, Rubén D; Agudelo, Diego; Saffon, Andrés

Condición corporal, perfil de lipoproteínas y actividad ovárica en vacas Holstein en lactancia temprana

Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, vol. 20, núm. 1, marzo-junio, 2007, pp. 16-29

Universidad de Antioquia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295023036003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## Condición corporal, perfil de lipoproteínas y actividad ovárica en vacas Holstein en lactancia temprana

**R**evista  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarías

Rubén D Galvis<sup>1</sup>, Zoot, MSc; Diego Agudelo<sup>2</sup>, Zoot; Andrés Saffon<sup>2</sup>, Zoot.

<sup>1</sup>Profesor Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. AA 1779.

<sup>2</sup>Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, profesional independiente.

rdgalvis@unalmed.edu.co

(Recibido: 8 noviembre, 2005; aceptado: 31 enero, 2007)

### Resumen

*Con el objetivo de conocer el efecto de la condición corporal, al momento del parto, sobre el balance de energía, la pérdida de peso, el perfil de lipoproteínas y la actividad ovárica en el posparto temprano, se evaluó un grupo de 10 vacas de la raza Holstein del Hato Paysandú de la Universidad Nacional, sede Medellín, en el día del parto y a los días 10, 20, 30, 40 y 50 días posparto para determinar el peso, la condición corporal, la producción de leche y los valores plasmáticos de colesterol total, lipoproteína de muy baja densidad (VLDL), lipoproteína de baja densidad (LDL) y lipoproteína de alta densidad (HDL). Adicionalmente, los animales fueron sometidos a ecografía ovárica para determinar el número y el tamaño de los folículos presentes en cada muestreo, así como la presencia de cuerpo lúteo. Con una frecuencia mensual se analizaron químicamente los componentes de la dieta para establecer los aportes de nutrientes. Sólo se presentaron diferencias significativas para el cambio de peso en el intervalo entre el parto y el día 10 posparto, con respecto a los demás intervalos, siendo este el periodo con las mayores pérdidas de peso. El balance de energía osciló entre 3 y 18% de los requerimientos al momento del parto y de -22 a -9 % de los requerimientos para los demás periodos de muestreo. En cuanto al perfil lipídico las variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron: colesterol, LDL y HDL; los valores aumentaron conforme aumentaban los días en lactancia. Por el contrario, para triglicéridos y VLDL los valores aumentaron hasta los cuarenta días y disminuyeron al día 50 posparto. No se encontraron diferencias significativas entre las poblaciones de folículos en función de los periodos de muestreo. Sólo seis vacas presentaron ovulación durante el periodo observado. Las vacas que ovularon tenían unas condiciones más favorables a la utilización de reservas corporales, denotadas en una mayor condición corporal al momento del parto y un mayor valor de HDL plasmático; si bien estas vacas presentaron mayor pérdida de peso, mostraron el nadir del BEN más temprano y las concentraciones más altas de colesterol plasmático, indicando un balance energético más favorable, lo que, efectivamente, se tradujo en menos días a la primera ovulación y en una mayor producción de leche.*

**Palabras clave:** balance energético, movilización de reservas, ovulación, perfil lipídico.

### Introducción

En vacas de alta producción lechera, el final de la gestación y el principio de la lactancia coinciden con un dramático incremento en las necesidades de nutrientes y una disminución en el consumo de

materia seca (14). La primera fase de la lactancia coincide con condiciones metabólicas adversas originadas en el déficit energético ocasionado por el bajo consumo de energía y la alta producción lechera; en esta fase, el catabolismo puede alcanzar magnitudes exageradas (11).

La movilización de reservas corporales es un mecanismo que permite la exportación de sustratos lipídicos energéticos desde el tejido adiposo hasta la circulación sanguínea. De esta manera, salen del adipocito grandes cantidades de ácidos grasos no esterificados (AGNE) con el objetivo de ser oxidados en la mayoría de los tejidos. El hígado es uno de los principales órganos en utilizar los AGNE, además de ser el nodo central desde donde se redistribuye todo el flujo de lípidos hacia el organismo completo. Es bien conocido que en el hígado se ensamblan continuamente lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), con el único objetivo de distribuir las fracciones lipídicas desde este órgano a los demás. De igual manera, una extensa síntesis de triglicéridos es llevada a cabo allí. En las vacas en lactancia temprana estos fenómenos son fisiológicos, sin embargo éstas pueden ser susceptibles a esteatosis por los bajos niveles de glucosa, insulina y VLDL (1).

La capacidad de movilización de fracciones lipídicas desde el hígado es el factor principal que impide la infiltración grasa del hígado, situación probable en vacas sometidas a balance energético negativo (BEN) pronunciado. Múltiples estudios sugieren la asociación entre la exagerada movilización y oxidación lipídica sobre la salud y fertilidad de las vacas (5, 18).

Aunque en nuestro medio no se conoce la variación de indicadores tales como cetonas, triglicéridos, ácidos grasos no esterificados y el perfil de lipoproteínas, se ha reportado que el 95.7 % de los animales estudiados presentó valores altos de AST (Aspartato Succinil Transferasa) lo que sugiere un compromiso de la actividad hepática (13). El incremento en la actividad de AST y de los indicadores de movilización lipídica, sugieren la presentación de esteatosis. Dadas las exageradas pérdidas de condición corporal concomitantemente con los niveles elevados de AST, es lógico pensar que la esteatosis puede ser una condición patológica frecuente y que parcialmente puede ser responsable de los problemas de infertilidad encontrados en las vacas de alta producción lechera (11).

El objetivo central de esta investigación fue evaluar la relación entre la condición corporal al

parto, las pérdidas de peso, el perfil lipídico y la actividad ovárica en vacas Holstein en la lactancia temprana.

## **Materiales y métodos**

### *Área de estudio*

El trabajo se realizó en el centro agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional, sede Medellín, ubicado a 2400 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14°C y una humedad relativa promedio de 80% en una formación ecológica de bmh-MB, según la clasificación de Holdridge (17).

### *Animales y dieta*

Se utilizaron 10 vacas Holstein multíparas que ingresaron al experimento con un intervalo no superior a dos meses. Los animales estuvieron bajo un sistema de pastoreo rotacional en potreros de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), y recibieron un suplemento alimenticio comercial de acuerdo con su nivel de producción de leche, además de un suplemento mineral a voluntad.

### *Toma de muestras*

A las vacas se les evaluó la condición corporal siguiendo la metodología propuesta por Gallego (10) y utilizando la escala de 1 a 5 con intervalos de 0.1, de igual forma el peso fue estimado con cinta métrica (16). Se tomaron muestras de sangre en la yugular derecha utilizando tubos de vacío y se les practicó una ultrasonografía ovárica al día 10 posparto y a los días 20, 30, 40, y 50 posparto, los cuales se constituyeron en los períodos de muestreo. En estos mismos periodos se registró la información de producción lechera y de la suplementación alimenticia ofrecida a cada animal.

Con una frecuencia mensual, se tomaron muestras de forraje siguiendo el método de Hang Plucking, las cuales fueron analizadas químicamente para la determinación de fibra detergente neutra (FDN) por el método de Van Soest (39).

### *Muestreo y análisis de suero*

Las muestras de sangre se dejaron reposar por 15 minutos a 37 °C, luego de los cuales se

centrifugaron entre 2600 a 3000 rpm durante 15 minutos en un centrifuga Indulab® 1668. Se separó el suero y se envasó en viales en alícuotas de 2.0 ml. Todas las muestras se almacenaron a -20°C hasta su análisis.

En las muestras de sangre se cuantificaron las concentraciones circulantes de triglicéridos, colesterol total, y HDL, utilizando los kits comerciales Triglicéridos®, Colesterol®, y Colesterol HDL®, (BioSystems, Barcelona) respectivamente. La cuantificación de LDL y VLDL, se estimó de forma indirecta según la propuesta de Friedewald (41). La precisión de cada determinación se monitoreó usando una muestra de suero comercial de referencia.

#### *Balance energético*

Se estimó el balance de energía neta de lactancia para cada animal y en cada período de muestreo. La estimación del balance de energía neta de lactancia ( $EN_l$ ), se calculó por la diferencia entre los requerimientos estimados de acuerdo con parámetros establecidos (25), y los aportes estimados que hacían el forraje y el suplemento alimenticio consumidos por cada animal.

Los requerimientos de  $EN_l$  se estimaron utilizando el software de los requerimientos nutricionales para vacas lecheras del NRC (25). Para estimar la  $EN_l$  a partir de los valores de FDN del forraje, se utilizó la Ecuación 1 propuesta por Mertens (23):

$$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 2.86 - 0.0262 \text{ (%FDN)}.$$

La estimación del contenido de  $EN_l$  a partir del total de nutrientes digestibles (TDN) del suplemento alimenticio, se realizó utilizando la Ecuación 2 propuesta por NRC (26):

$$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = (0.0245 \text{ (%TDN)}) - 0.12.$$

El consumo total de materia seca (CMS) se estimó utilizando la Ecuación 3 propuesta por NRC (25):

$$CMS \text{ (kg/vaca/día)} = ((PV^{0.75}) * 0.0968) + (0.372 * LCG) - 0.293 * (1 - EXP(-0.192 * (SEL * 3.67))).$$

Donde PV es el peso vivo del animal (kg); LCG es la producción de leche corregida al 4% de grasa; SEL son las semanas en lactancia.

El consumo de MS del forraje se estimó como la diferencia entre CMS y el consumo de MS del suplemento alimenticio. Se calcularon los aportes con base en éstos y en el contenido de  $EN_l$ , tanto del forraje como del suplemento alimenticio.

#### *Determinación de la reactivación ovárica*

Esta se realizó a través de ultrasonografía ovárica. Para el examen se utilizó un ecógrafo de tiempo real y modo B (Pie Medical®, 240 Parus Vet, Rotterdam), dotado con una sonda trasrectal de 8 MHz, siguiendo las recomendaciones de Pierson *et al* (29). Los folículos fueron clasificados por tamaño en cuatro grupos siguiendo la metodología propuesta por Lucy *et al* (22) que se puede observar en la tabla 1. El periodo del parto a la primera ovulación, se determinó por la desaparición del folículo dominante entre dos exámenes consecutivos y la subsiguiente formación del cuerpo lúteo.

**Tabla 1.** Clasificación de los folículos por tamaño y sus características fisiológicas (Lucy *et al* 1992b)

Tipo de Folículo	Diámetro (mm)	Función dentro de la onda folicular
Folículos tipo I (Fol I)	3 a 5	Total de folículos pequeños en reclutamiento
Folículos tipo II (Fol II)	6 a 9	Folículos reclutados y seleccionados
Folículo tipo III (Fol III)	10 a 15	Folículo dominante
Folículo tipo IV (Fol IV)	>15	Gran folículo dominante u ovulatorio

#### *Procesamiento de la información*

Se realizaron análisis de varianza para establecer la variación del peso vivo, la condición corporal, el cambio de peso, las concentraciones plasmáticas de triglicéridos, VLDL, LDL y HDL y el número y tamaño promedio de los folículos en función de los periodos de muestreo. Se aplicó la prueba de Duncan

para establecer diferencias entre medias. Para ello se utilizó el PROC GLM del programa SAS® (33).

Mediante el ajuste de ecuaciones de regresión se establecieron relaciones entre la condición corporal al parto, con el cambio de peso, el balance de  $EN_l$ , las concentraciones plasmáticas de triglicéridos, VLDL, HDL, el número y tamaño promedio de los folículos y los días a la primera ovulación. De igual manera, se establecieron relaciones entre el balance de  $EN_l$  con el cambio de peso, las concentraciones plasmáticas de triglicéridos, VLDL, con el número y tamaño promedio de los folículos y los días a la primera ovulación; por último, entre el cambio de peso con las concentraciones plasmáticas de triglicéridos, VLDL, HDL, número y tamaño promedio de los folículos y con los días a la primera ovulación. Para lo anterior, se utilizó el PROC REG del programa estadístico SAS® (33). Se aceptó significancia estadística cuando el valor de p (probabilidad de cometer el error tipo I) fue menor a 0.05 ( $p < 0.05$ ).

## Resultados

### *Peso vivo, producción de leche y condición corporal*

En la tabla 2 se consignan los promedios para peso vivo y condición corporal, así como su

variación entre los periodos de muestreo. Como puede observarse, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los variables cambio de peso y cambio de condición corporal entre los periodos de muestreo. Sólo se presentaron diferencias significativas para el cambio de peso en el intervalo entre el parto y el día 10 posparto, con respecto a los demás intervalos, siendo en este periodo donde se presentaron las mayores pérdidas de peso. En cuanto al cambio en condición corporal, los mayores cambios se observaron en los intervalos comprendidos entre el parto y el día 10 posparto, entre el día 10 y el día 20 posparto, y entre el día 40 y el día 50 posparto; siendo estadísticamente iguales entre sí. Los menores cambios en condición corporal se observaron entre los periodos 20 y 30 días posparto y en el periodo entre los días 30 y 40 posparto; presentando diferencias estadísticamente significativas entre sí.

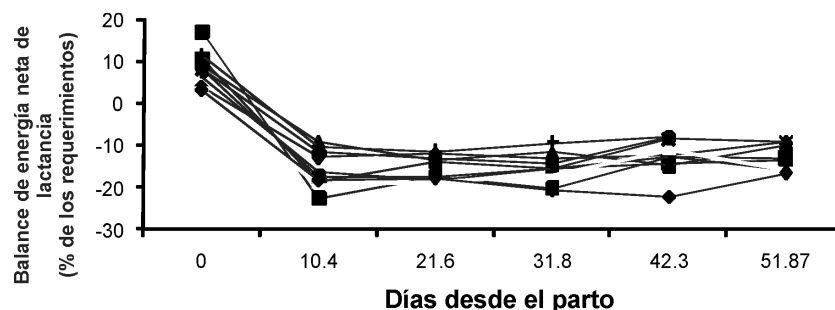
### *Balance de energía*

En la figura 1 se presentan los balances de energía por vaca y por periodos de muestreo, cada línea representa la evolución del balance de energía neta de lactancia para cada una de las 10 vacas de la investigación. Como puede observarse los valores oscilaron entre 3 a 18% de los

**Tabla 2.** Variación del peso y la condición corporal en los periodos de muestreo

Días al parto	0	10	20	30	40	50
Peso vivo (kg)	615a	588a	575a	567a	561a	564a
Cambio (%PV)		-4.28a	-2.12b	-1.39b	-1.02b	-0.78b
Condición corporal (escala 1 a 5)	3.2a	3.1a	2.9a	2.7a	2.7a	2.7a
Cambio Cond. corporal		-0.19ab	-0.17ab	-0.20a	-0.005b	-0.13ab

Medias con letras diferentes presentan diferencias significativas a  $p < 0.05$



**Figura 1.** Balance energético por vaca\* y por periodo de muestreo

\*Cada línea representa una vaca

requerimientos de  $EN_l$  al momento del parto y entre -22 a -9 % de los requerimientos de  $EN_l$  para los demás periodos de muestreo.

#### *Perfil lipídico*

La tabla 3 indica la variación del colesterol y del perfil de lipoproteínas en función de los periodos de muestreo. Como puede observarse, se presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre los periodos

de muestreo para las variables colesterol, LDL y HDL. Para las variables triglicéridos y VLDL no se encontró ninguna diferencia estadística ( $p>0.05$ ) entre periodos de muestreo. Los valores plasmáticos de colesterol, LDL y HDL aumentaron conforme aumentaban los días en lactancia. Por el contrario, para triglicéridos y VLDL, los valores aumentaron hasta los cuarenta días después del parto para luego disminuir al día 50 posparto.

**Tabla 3.** Perfil lipídico por periodos de muestreo.

Días al parto/ Metabolito(mg/dl)	10	20	30	40	50
Colesterol	109.23a	144.46b	172.13bc	200.46cd	213.25d
Triglicéridos	19.32a	22.03a	23.50a	25.35a	22.49a
VLDL	3.86a	4.40a	4.70a	5.07a	4.98a
LDL	69.54a	91.61ab	107.62bc	131.10cd	139.66d
HDL	31.29a	43.27b	54.28c	58.34cd	63.80d

Medias con letras diferentes presentan diferencias significativas a  $p<0.05$

La tabla 4 consigna la variación en los tipos de folículos en función de los periodos de muestreo. Como puede observarse no se encontraron

diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las poblaciones de folículos en función de los periodos de muestreo.

**Tabla 4.** Variación del número de los diferentes tipos de folículos en función de los periodos de muestreo

Días al parto/ tipo de folículo	10	20	30	40	50
I	3.7a	2.3a	4.7a	4.3a	3a
II	0.9a	1.9a	1.5a	1.1a	0.8a
III	0.3a	0.6a	0.8a	0.5a	0.3a
IV	0.1a	0.2a	0.3a	0.1a	0.1a

Medias con letras diferentes presentan diferencias significativas a  $p<0.05$

**Tabla 5.** Diferencias de medias para las principales variables entre vacas que ovularon y no ovularon

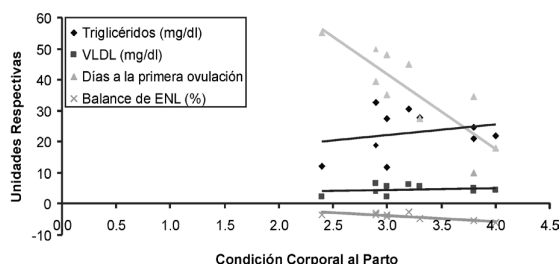
Variable	Diferencias de medias		
	SI	NO	<sup>1</sup> P
Ovulación	SI	NO	
No. de vacas	6	4	
Condición corporal al parto	3.38±0.36	3.1±0.69	0.10
Cambio en condición corporal	0.12±0.28	0.11±0.20	0.83
Cambio de peso como porcentaje del peso vivo	-2.48±2.14	-1.24±1.47	0.03
BE (%)	-11.92± 8.7	-9.70 ± 8.8	0.35
Nadir BE (%)	-18.49 ± 2.67	-15.35 ± 4.67	0.20
Días al nadir BE	21.67 ± 12.5	34.75 ± 15.4	0.17
Chol (mg/ dl)	176.29 ± 48.9	150.33 ± 46.1	0.07
Trigliceridos	20.98±8.24	20.34±7.51	0.128
VLDL	4.79±1.64	4.06±1.50	0.128
HDL	53.16±14.65	44.24±13.29	0.03
LDL	112.70±35.71	97.24±34.03	0.14
Producción de Leche (kg/día)	33.97 ± 3.6 b	29.35 ± 1.1 a	0.03

<sup>1</sup>p: probabilidad de cometer el error tipo I

En la tabla 5 se consignan las diferencias de medias para las principales variables entre vacas que ovularon y no ovularon. Aquí se puede observar que las vacas que ovularon tuvieron diferencias significativas en cuanto a cambio de peso vivo y la concentración plasmática de HDL ( $p<0.03$ ). Es importante resaltar que el colesterol plasmático presentó diferencias estadísticas con un valor de  $p<0.07$ , el cual se acerca al límite de significancia. De igual manera, la condición corporal al parto, teniendo en cuenta que es una variable subjetiva, debido a que su valoración es visual, presentó diferencias estadísticas de  $p=0.10$ . De este modo podría considerarse que las vacas que ovularon durante el periodo experimental presentaron valores mayores de condición corporal al parto, de colesterol plasmático, de HDL y de pérdida de peso.

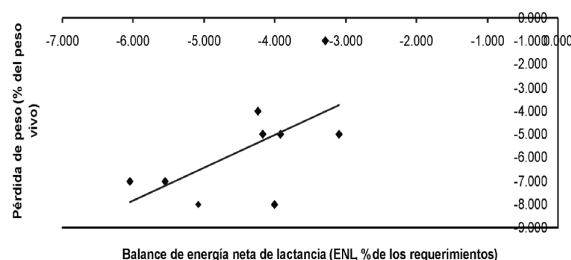
#### Asociación entre variables

La figura 2 muestra las regresiones lineales que presentaron significancia estadística con la condición corporal al parto como variable independiente. Se presentaron relaciones directamente proporcionales entre condición corporal al parto y triglicéridos, HDL, colesterol, LDL, VLDL, Fol II, Fol III; y las variables que tuvieron relaciones inversamente proporcionales con respecto a la condición corporal al parto fueron: cambio de peso vivo, balance energético, número de folículos tipo I, número de folículos tipo IV y días a la primera ovulación. Sin embargo, sólo presentaron significancia estadística las relaciones entre la condición corporal al parto y los días a la primera ovulación ( $p<0.01$ ), las concentraciones plasmáticas de triglicéridos ( $p<0.01$ ), las concentraciones plasmáticas de VLDL ( $p<0.01$ ), y el balance de energía neta de lactancia ( $p<0.01$ )

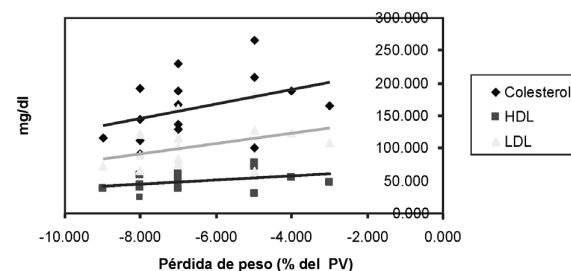


**Figura 2.** Relaciones estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ) entre algunas variables y la condición corporal al parto

Se presentaron relaciones inversamente proporcionales entre el balance energético con el número de folículos clase II y con el número de folículos clase III; las demás relaciones fueron directamente proporcionales. La única variable con la que el balance energético se asoció significativamente ( $p=0.01$ ) fue el cambio de peso vivo; dicha asociación se ilustra en la figura 3.



**Figura 3.** Relación entre el balance de energía neta de lactancia y las pérdidas de peso ( $p<0.05$ ).



**Figura 4.** Relaciones estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ) entre algunas variables y la pérdida de peso

La figura 4 muestra las regresiones lineales que presentaron significancia estadística con la pérdida de peso como variable independiente. Se presentaron relaciones inversamente proporcionales entre el cambio peso y las concentraciones plasmáticas de triglicéridos y VLDL. De igual modo el cambio de peso se relacionó inversamente con el número de folículos tipo II y tipo IV. La relación del cambio de peso con las demás variables fue directamente proporcional. Las únicas relaciones significativas se presentaron entre el cambio de peso y los valores plasmáticos de HDL ( $p<0.01$ ), LDL ( $p<0.01$ ) y colesterol ( $p<0.01$ ).

#### Discusión

##### *Características de peso vivo, condición corporal y sus variaciones*

El cambio de peso es una función del peso corporal y del balance energético, por lo tanto en el

grupo de animales era de esperar que la variación en este parámetro fuera alta ya que el peso corporal al momento del parto osciló entre 525 y 733 Kg; de igual manera, el balance energético osciló entre 3 y 18% de los requerimientos de  $EN_l$ . Aunque es difícil realizar comparaciones adecuadas con otras investigaciones, en nuestro medio se han reportado pérdidas de peso similares a las encontradas en esta investigación, es así como otros autores (12) reportaron pérdidas de peso promedio de 10.32 Kg, para el período comprendido entre los 12 y 24 días, y de 5.05 Kg para el período entre los 24 y 35 días. En la presente investigación, las pérdidas de peso oscilaron entre 27.2 y 4.3 Kg a lo largo de los periodos de muestreo.

Como se observa en los resultados de esta investigación y en los reportados de otros autores, la pérdida de peso se hace menor a medida que avanza la lactancia, esto se explica ya que en este periodo la vaca reduce ostensiblemente la ingestión de materia seca y concomitantemente se elevan los requerimientos de energía, ya que aumenta la producción de leche. El aumento en producción de leche es compensado con aumentos en el consumo de materia seca conforme avanza la lactancia, lo que va disminuyendo poco a poco la pérdida de peso (8, 36).

En cuanto a la pérdida de condición corporal, se observó una pérdida constante a lo largo de todos los muestreos; pero se puede observar una diferencia estadísticamente significativa en el periodo comprendido entre los días 30 y 40. Aunque se observa una tendencia similar a la observada en el cambio de peso, se presenta un aumento de pérdida de condición corporal entre los días 40 y 50, lo que pudo ser debido más a una apreciación subjetiva, dada la naturaleza de esta variable y teniendo en cuenta que la pérdida de peso y de condición de corporal deben estar altamente relacionadas. La tendencia en la disminución en la pérdida de condición corporal conforme avanza la lactancia, se relaciona con lo explicado anteriormente, ya que la pérdida de condición corporal disminuye, dado que la movilización de reservas es más baja a medida que la ingestión de materia seca es mayor.

### *Balance energético*

En la figura 1 se puede observar la variación en el %BE, ilustrando claramente que en el momento del parto se encontraba entre 3 y 18% y en los siguientes muestreos varió entre -22 a -9%; estos valores coinciden con lo reportado por Galvis *et al* (12) quienes encontraron que antes del parto, el balance de energía neta de lactancia varió entre -5 y + 19 % de los requerimientos y para el periodo comprendido entre el día 12 y 35 posparto, hallaron un BEN de una magnitud entre -20 y -7 % de los requerimientos.

El hecho de que el %BE cambió de positivo al momento del parto, a negativo en los siguientes muestreos, puede explicarse por los grandes requerimientos energéticos que le siguen al parto y por la poca ingesta de materia seca a la que está sometida la vaca en este periodo de transición. La primera fase de la lactancia coincide con condiciones metabólicas adversas originadas en el déficit energético ocasionado por los bajos consumos de energía y la alta producción lechera (11).

Respecto a la variación del %BE a través de los periodos de muestreo, sólo se presentaron diferencias significativas entre el %BE al momento del parto, con los %BE de los muestreos posparto. El balance energético cambió de positivo al momento del parto a negativo en los muestreos posteriores, debido al incremento en los requerimientos que trae consigo la producción de leche. Por lo general, en los días siguientes al parto, la producción de leche aumenta de forma acelerada hasta alcanzar un pico, mientras que el consumo de energía sufre un retroceso, produciéndose el BEN (20). Butler y Smith (6) reportan que el requerimiento de energía para la producción de leche puede triplicar el requerimiento energético de mantenimiento durante la lactancia temprana. En un trabajo más reciente realizado en Antioquia (12), se observaron relaciones significativas ( $p < 0.01$ ) entre la producción de leche y el balance de energía; como era de esperarse, la ecuación de regresión lineal tiene pendiente negativa, debido al incremento en las necesidades nutricionales que trae consigo la producción de leche.

Si bien otros autores (6) afirman que el BEN normalmente alcanza su máximo durante la primera a segunda semana de lactancia, en el presente trabajo éste se observó a los 20 y 30 días posparto, período en el cual se observó el pico de producción lechera, siendo este el principal determinante del balance energético.

#### *Perfil lipídico*

**Colesterol.** El promedio para la concentración sanguínea de colesterol fue  $166.02 \pm 49.05$  mg/dl, variando en un rango de 80.33 hasta 279.66 mg/dl. Muchos valores estuvieron por encima de los valores normales de colesterol, cuyo rango es de 80 hasta 240 mg/dl (19). Aún así, esta variación se considera normal debido a que el colesterol tiene un amplio rango de variación influenciado por la etapa productiva y por el estado energético en que se encuentra el animal. En cuanto a la variación del colesterol plasmático en función de los periodos de muestreo, se pudo observar que estos aumentaron significativamente a medida que avanzaba la lactancia. Resultados similares han sido reportados por otros autores (12, 38), quienes han reportado aumentos sostenidos en los valores plasmáticos de colesterol desde el parto y hasta la semana 8 de lactancia, momento en el cual estos valores se hacen constantes. Las diferencias con otras investigaciones pueden ser debidas a las diferencias en el tiempo y en la dinámica del balance energético conforme avanza la lactancia.

Según Sommer (35), el colesterol es un indicador adecuado para establecer el consumo de energía y de alguna manera el estado productivo del animal. Otros estudios (12), han sugerido que efectivamente al inicio de la lactancia cuando los niveles de producción de leche fueron altos, la concentración sanguínea de colesterol presentó los valores más bajos y estos se incrementaron con el avance de la lactancia y la subsiguiente reducción en la producción de leche. Aunque en el presente trabajo no se encontró una asociación significativa ( $p > 0.05$ ) entre el balance para  $EN_L$  y colesterol, sí se pudo observar que dichas variables se incrementaron a medida que avanzaba la lactancia, lo que se corroboró con la pendiente de la ecuación de regresión entre las dos variables, la cual fue positiva.

**Triglicéridos y VLDL.** Dado que en el presente trabajo la estimación de VLDL se realizó partir de la determinación de triglicéridos, utilizando la formula de Friedewald (41), es lógico discutir conjuntamente dichas variables. Los valores de triglicéridos y de VLDL no presentaron variación significativa entre los periodos de muestreo. Los valores para triglicéridos oscilaron entre 19.32 y 25.35 mg/dl y los de VLDL entre 3.86 y 5.07 mg/dl. Si bien no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, se observó una tendencia al incremento conforme aumentaban los días en lactancia. Estos resultados coinciden con los reportados por West et al (40), quienes reportaron valores de triglicéridos entre 26.52 y 24.65 mg/dl para vacas Holstein y Jersey entre los días 3 y 59 posparto. Otros autores (1), encontraron que los valores de triglicéridos y VLDL fueron más altos en el periodo seco que en la lactancia temprana (un mes posparto) y que en la lactancia tardía (cuatro meses posparto).

Por su parte, Sevinc *et al* (34), reportaron para vacas Holstein en la lactancia temprana, valores de triglicéridos y de VLDL que oscilaron entre 13.3 y 13.5 mg/dl y entre 1.2 y 1.9 mg/dl respectivamente. Cabe destacar que estos autores no encontraron diferencias para estas variables entre vacas sanas y vacas afectadas por cetosis. Por su parte Guedon *et al* (15), sugieren que las concentraciones de triglicéridos en sangre permanecen constantes, a menos que ocurran cambios severos en el estado fisiológico o en la dieta.

**HDL.** Como puede observarse en la tabla 3, los valores de HDL se incrementaron con los días en lactancia; esto coincide con lo reportado por otros autores (1, 2), quienes encontraron que los valores de HDL disminuían al momento del parto y luego aumentaban hasta alcanzar su valor máximo en la lactancia tardía. Durante la lactancia temprana, el acelerado metabolismo de la VLDL origina la subsecuente cobertura de lípidos remanentes en la superficie capilar que posteriormente formará las HDL, las cuales probablemente tengan una baja tasa de recambio; esté fenómeno da cuenta de las elevadas concentraciones de HDL durante éste periodo (31).

*LDL.* Como podemos observar en la tabla 3, las concentraciones plasmáticas de LDL aumentaron paulatinamente a través de los periodos de muestreo, lo que coincide con lo reportado por Bauchart (2), quien afirma que en el periodo final de la gestación la elevación en los estrógenos provoca un aumento en los receptores de LDL, lo cual disminuye las concentraciones plasmáticas de esta lipoproteína. Luego del parto la concentración plasmática de estrógenos declina, lo que desencadena una baja en los receptores de LDL con el subsecuente aumento en la concentración plasmática de LDL.

#### *Número de Folículos*

El número promedio de folículos tipo I, II, III y IV, no presentó variaciones significativas entre los periodos de muestreo. De manera opuesta Lucy *et al* (21), realizaron un seguimiento por ultrasonografía a los 7, 16, 18, 20, 22 y 25 días posparto en 52 vacas, y encontraron que antes del día 25 el número promedio de folículos pequeños (Tipo I) disminuyó, mientras que el número promedio de folículos grandes (Tipo III y IV) aumentó significativamente ( $p < 0.01$ ) a medida que transcurrían los días posparto. Este patrón es consistente con el concepto de reclutamiento y selección folicular que permiten el crecimiento folicular y la dominancia. Las diferencias encontradas con otros autores pueden ser debidas al intervalo entre muestreos, ya que en este trabajo se utilizó un intervalo amplio de 10 días.

En los resultados citados anteriormente (21), al parecer la clase más pequeña de folículos se convierte en folículos de clase mayor a medida que transcurren los días posparto y no son reabastecidos durante los primeros 25 días posparto; de esta forma, el número promedio de folículos de tamaño medio (Tipo II) permanece sin cambios, probablemente debido a que representan un tipo de tamaño de folículo transitorio. Estos patrones de crecimiento causan una interacción entre la frecuencia folicular a través de los tipos de folículos y los días posparto que no fueron observadas plenamente en este trabajo, dado que en todos los periodos de muestreo el número de folículos de diferentes tipos no varió significativamente.

#### *Diferencias de medias para las principales variables entre vacas que ovularon y no ovularon*

En este estudio no se encontraron diferencias significativas en el balance de energía, ni en la magnitud del nadir del BEN entre las vacas que ovularon y las que no ovularon dentro del periodo de muestreo. Estos resultados concuerdan con los reportados por Beam y Butler (3); sin embargo, estos mismos autores encontraron que el intervalo al nadir el BEN fue significativamente ( $p < 0.01$ ) más corto para las vacas con folículos ovulatorios durante la primera onda folicular posparto. Estos resultados pueden tener su explicación fisiológica dado que según otra investigación (7), el alcance de un balance de energía positivo más temprano es beneficioso e importante para la función y competencia del folículo dominante, y está directamente relacionado con la culminación del desarrollo folicular y la ovulación. Los resultados de la presente investigación, coinciden con lo anterior, ya que a pesar de no existir diferencia significativa, el grupo de vacas que no ovuló se demoró 13 días más que el grupo de vacas que si ovuló para alcanzar el nadir del BEN.

El grupo de vacas que ovularon durante el periodo experimental, presentó concentraciones plasmáticas de colesterol significativamente más altas que el grupo de vacas que no ovularon. Guedon *et al* (15) reportaron resultados similares, en los cuales los animales que tuvieron una reactivación del ciclo ovárico más temprano presentaron valores significativamente más altos de colesterol sérico ( $p < 0.05$ ), desde la segunda semana preparto hasta la cuarta semana posparto, respecto a los grupos de vacas que reiniciaron más tarde su reactivación ovárica. En contraste, en un estudio similar (3), no encontraron ninguna diferencia significativa en el colesterol plasmático en grupos de vacas que ovularon y no ovularon. Cabe destacar que en el estudio citado, los valores promedio de colesterol fueron más bajos y las condiciones corporales al parto fueron mayores que las reportadas en la presente investigación. Las diferencias encontradas con este estudio podrían tener su explicación en un manejo nutricional distinto, ya que estas vacas se alimentaron con una ración totalmente mezclada.

El análisis acerca de por qué las vacas que ovularon durante el periodo de muestreo presentaron mayores niveles de colesterol total, de HDL y mayor cambio relativo de peso, debe realizarse en conjunto, sin olvidar las relaciones existentes entre estas variables. Según los datos de la presente investigación, es posible sugerir una mayor utilización de las VLDL por las vacas que ovularon respecto a las que no, lo que se evidencia en el hecho de que las vacas que ovularon presentaron una pérdida relativa de peso significativamente mayor, lo que necesariamente obligó a la utilización intensiva de VLDL, las cuales fueron más altas (aunque no significativamente; 4.79 vs 4.06 mg/dl) en las vacas que ovularon respecto a las que no ovularon. La mayor utilización de las VLDL en las vacas que ovularon también se puede sugerir dado los valores significativamente más altos de HDL que presentaron estos animales, los cuales según Puppione (31), son un indicador fiable de utilización de VLDL por la glándula mamaria. Una situación difícil de dilucidar es si en el presente trabajo la mayor utilización de las VLDL por las vacas que ovularon, condujo a una mayor formación de LDL; la dificultad en dilucidar esta situación radica en que si bien las vacas que ovularon presentaron en promedio valores más altos de LDL (112.7 vs. 97.24 mg/dl), esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

En el grupo de vacas que ovularon respecto a las que no ovularon, se observaron unas condiciones más favorables respecto a la utilización de reservas corporales, denotadas en una condición corporal significativamente mayor al momento del parto y un valor mayor de HDL plasmático; si bien estas vacas tuvieron una pérdida de peso significativamente mayor, se pudo observar como éstas tuvieron menos días al nadir del BEN (21.67 vs 34.75) y unos valores de colesterol plasmático significativamente más altos, denotando un balance energético más favorable y una adecuada utilización de las reservas para la producción de leche, lo que debió conducir a una menor acumulación de grasa hepática y por ende una mejor salud metabólica, lo que efectivamente se tradujo en menos días a la primera ovulación y en una mayor producción de leche (33.97 vs 29.35;  $p < 0.03$ ). Respecto de esta última observación,

Puppione (31) sugiere que el grado en el incremento de HDL sérico debe ser un indicador de la capacidad de la glándula mamaria para la formación de grasa láctea; así mismo, afirma que el nivel de lipoproteína (primera fracción protéica que migra en la electroforesis de lipoproteínas) puede ser un indicador de la capacidad del hígado para producir lipoproteínas esenciales en la utilización de los triglicéridos plasmáticos para la síntesis de grasa láctea, y concluye afirmando que en vacas lactantes, el perfil de lipoproteínas puede ser una guía para predecir la capacidad de producción de leche.

Con respecto al hecho de que las vacas que ovularon presentaron una producción de leche significativamente más alta, Butler y Smith (6) afirman que la correlación entre producción de leche y los días a la primera ovulación es significativa sólo después de 40 días posparto, cuando la mayoría de las vacas ya han ovulado, por lo tanto estos autores sugieren que otros factores, no sólo la producción de leche, están involucrados en determinar el intervalo a la primera ovulación.

#### *Relación entre variables*

*Condición corporal al parto.* La condición corporal al parto presentó una relación inversamente proporcional con el balance energético y con los días a la primera ovulación posparto y, directamente proporcional con los valores plasmáticos de triglicéridos y VLDL.

Conforme con estos resultados, las vacas con una mayor condición corporal al parto presentaron un menor promedio de balance energético durante los primeros 50 días de lactancia, lo cual pudo ser debido a que las vacas que presentaron mayor condición corporal al parto presentaron una producción de leche significativamente mayor y como ya se mencionó anteriormente, la producción de leche es el principal factor que afecta el balance de energía en la lactancia temprana. En los párrafos anteriores se discutieron las razones posibles para que las vacas con mayor condición corporal al parto y un perfil lipídico significativamente diferente, presentaran mayor producción de leche y por ende un balance energético negativo más marcado.

El hecho de que las vacas con mayor condición corporal al parto presentaron en promedio valores significativamente más altos de triglicéridos y VLDL pudo ser debido a la mayor disponibilidad de reservas lipídicas que estuvo disponible tanto para la movilización entre tejido adiposo e hígado, como entre hígado y glándula mamaria. Es necesario anotar que la movilización de reservas grasas desde el adipocito y el hígado sucede principalmente como AGNES (19); si bien en la presente investigación estos no se cuantificaron, se puede suponer una mayor exportación de reservas lipídicas desde el hígado a la glándula mamaria en forma de triglicéridos componentes de la VLDL, que con un alto grado de certeza provinieron de la utilización de AGNES para su síntesis, dada la condición de balance energético negativo a la que estuvieron sometidos los animales.

La condición corporal al parto se asoció de forma inversamente proporcional con los días a la primera ovulación posparto. Es decir, conforme se aumentaba la condición corporal al parto, disminuían los días a la primera ovulación (Coeficiente de determinación,  $b=-23.22$ ). Esta observación concuerda con varios autores, entre ellos Domínguez (9), quien encontró que las vacas con baja condición corporal presentaron menos oocitos normales que las vacas con mayor condición corporal, lo que condujo a una menor cantidad de oocitos disponibles para la maduración final y posterior ovulación. Por su parte Prado *et al* (30), reportaron que la condición corporal afectó el número de folículos sólo hasta la quinta semana posparto. Otro estudio (28), encontró que la baja condición corporal afectó el desarrollo folicular sólo en vacas sometidas a dietas bajas en energía. Según los resultados de los autores citados, es posible sugerir un efecto combinado de la condición corporal, los días en lactancia y el balance de energía sobre el desarrollo folicular y por ende sobre la primera ovulación posparto. Las bases fisiológicas que explican estos efectos combinados, se deben posiblemente a las interacciones entre cantidad de tejido graso, balance energético y las hormonas insulina e IGF-1; las que en diversas investigaciones (6), han evidenciado su efecto sobre el reestablecimiento de la actividad ovárica posparto.

*Balance energético.* Se encontró una relación positiva y estadísticamente significativa entre el balance energético y el cambio de peso vivo. Es decir, conforme el balance energético se hacía menos negativo, disminuía la pérdida de peso. Estas observaciones tienen su explicación lógica en la utilización de reservas para la producción láctea. Es así como Nebel y McGilliard (27), afirman que las vacas lecheras no pueden mantener un balance positivo de energía durante la lactancia temprana y deben movilizar las reservas corporales para mantener las demandas de energía para el mantenimiento y la producción de leche.

*Cambio de peso.* Se encontraron relaciones positivas y estadísticamente significativas entre el cambio de peso y las concentraciones plasmáticas de HDL, LDL y colesterol total; es decir, conforme la pérdida de peso se hacía menor, las concentraciones plasmáticas de HDL, LDL y Colesterol total, se incrementaban.

El incremento conjunto en las concentraciones plasmáticas de colesterol total, LDL y HDL, tiene su explicación en el hecho de que con el incremento de los niveles de colesterol durante la lactancia, también se incrementan los niveles de lipoproteínas (32). Estas lipoproteínas hacen parte tanto de las HDL como de las LDL, las cuales dan cuenta de cerca de un 50% del incremento en lípidos séricos que ocurre en la lactancia. Durante la lactancia, la exportación de lípidos desde el hígado a los tejidos periféricos depende de la VLDL, la cual, cuando entrega lípidos a los tejidos periféricos se convierte en LDL. Se acepta que la fracción más densa de las LDL está constituida por las HDL. Se sugieren tres posibles explicaciones para los niveles elevados de HDL en vacas lactantes: 1) una adaptación a la lactancia incrementando los reservorios de Apo C (apoproteína constitutiva de la HDL), 2) por un incremento de la utilización de VLDL por la glándula mamaria, y 3) por un incremento de la síntesis y secreción de HDL hepática en respuesta a la lactancia. Un incremento en los niveles de apo C debe conducir a un incremento en la disponibilidad del activador de la lipoproteína lipasa y como consecuencia un incremento en la capacidad de remoción de triglicéridos desde la VLDL por la glándula mamaria y los tejidos periféricos. En este

caso, el colesterol y la lecitina quedarán expuestos a la acción de la lecitina colesterol acyl transferasa (LCAT), lo que debe conducir a la formación de HDL.

Sin embargo, Puppione (31) sugiere que si el catabolismo de las VLDL y la transesterificación están acoplados, la mayoría del colesterol sería utilizado en la formación de lipoproteínas de gran tamaño como la LDL y no en la formación de múltiples moléculas pequeñas de HDL; aseveración que no se evidenció en la presente investigación, dado que ambas lipoproteínas se asociaron significativamente con la menor pérdida de peso y por ende con la utilización de VLDL por los tejidos periféricos.

En el presente trabajo, la asociación inversa entre la pérdida de peso y los valores plasmáticos de LDL y HDL, sugieren la utilización de las VLDL por los tejidos periféricos más que por la glándula mamaria, de lo contrario, era de esperarse más una relación directa entre los valores plasmáticos de estas lipoproteínas y la pérdida de peso.

En este estudio, se pudo evidenciar que existen interacciones entre la condición corporal al parto, el cambio de peso durante la lactancia temprana, la producción de leche y el perfil de lipoproteínas, que pueden relacionarse con el reinicio de la actividad ovárica posparto. En conclusión, en las vacas que

ovularon se observaron unas condiciones más favorables respecto de la utilización de reservas corporales, denotadas en una mayor condición corporal al momento del parto y un mayor valor de HDL plasmático. Si bien estas vacas presentaron mayor pérdida de peso, presentaron el nadir del BEN más temprano y concentraciones de colesterol plasmático más altas, denotando un balance energético más favorable, lo que efectivamente se tradujo en menos días a la primera ovulación y en una mayor producción de leche.

Debido a los patrones de la dinámica folicular, se recomienda realizar seguimientos ecográficos con intervalos mucho más cortos que los utilizados en ésta investigación para futuras investigaciones en el área de desarrollo folicular.

Para el estudio preciso de las interacciones entre lipoproteínas plasmáticas, es necesario utilizar métodos de cuantificación de VLDL que no se basen en el valor de triglicéridos, de esta manera será posible independizar el análisis de ambas variables.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo valioso para la realización de la presente investigación al personal administrativo y operativo de la Hacienda Paysandú, al profesor Guillermo Henao Restrepo y al Agrónomo-Zootecnista Jhon Jairo Giraldo.

### Summary

#### *Body Condition, lipoprotein profiles and ovarian activity in Holstein cows during early lactation*

*A group of 10 Holstein cows from Paysandú herd (Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín), were evaluated at the expected calving day and over 10, 20, 30, 40 and 50 postpartum days, to determine body weight, BCS, milk yield and blood serum values of total cholesterol and lipoproteins (VLDL, LDL and HDL) in order to analyze the effect of Body Condition Score (BCS) at parturition on energy balance, weight loss, lipoprotein profiles and the ovarian activity in early postpartum. Additionally, an ovarian ultrasonogram was performed to determinate follicle number and size, as well as the presence of corpora lutea. The composition of the diet was chemically analyzed monthly. There were significant differences in body weight only at the interval between calving and 10 days postpartum; this was the period when the greatest weight loss was registered. The energy balance (expressed as percentage of requirements) ranged between 3 to 18 % at parturition and from -22 to -9 % for the rest of the sampling times. Regarding lipid profiles, cholesterol, LDL and HDL showed statistically significant differences; these values increased proportionally to time after parturition. Triglycerides and VLDL, on the other hand, increased until 40 days and decrease at 50 days postpartum. There were no significant difference for the number of follicles throughout the experimental period, and only six cows ovulated. The group of cows that ovulated was able to maintain positive conditions for the use of body reserves, expressed in a greater BCS at parturition time, and a higher blood-serum HDL*

*concentrations; however, these cows presented the major weight loss, the earliest nadir of energy balance and the higher blood-serum cholesterol concentrations. This would result in a better energy balance that effectively expressed itself a shorter time from parturition to ovulation and more milk production.*

**Key words:** energy balance, lipid profile, ovulation, tissue-reserve mobilization

## Referencias

- Basoglu A, Sevinc M, Gokcen M. Peri and postparturient concentrations of lipid lipoprotein insulin and glucose in normal dairy cows. *Turk Vet ve Hay Derg* 1998; 22:141-144.
- Bauchart D. Lipid absorption and transport in Ruminants. *J Dairy Sci* 1993; 76:3864-3881.
- Beam SW and Butler WR. Energy balance, metabolic hormones, and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J Dairy Sci* 1998; 81:121-131.
- Bobowiec R, Filar J, Marczuk J, Kosior U. Periparturient changes in plasma lipoprotein composition in dairy cows. *Med Wet* 1997; 53:734-738.
- Bronicki M, Dembinski Z, Bronicka A. Effect of lipid metabolism disorders on the blood progesterone level in cows in the perinatal period. *Zes Nau Akad Roln w Szc, Zoot* 1996; 33:7-13.
- Butler WR and Smith RD. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1989; 72:767-783.
- Canfield RW and Butler WR. Energy balance and pulsate LH secretion in early postpartum dairy cattle. *Domest Anim Endocrinol* 1990; 7:323-330.
- De Luca L. Fisiopatología del hígado de las vacas de alta producción. 2003; [Fecha de acceso: septiembre 20 de 2004]. URL: <http://www.engormix.com/nuevo/prueba/areadeganaderialeche1.asp?valor=283>.
- Dominguez M. Effects of body condition, reproductive status and breed on follicular population and oocyte quality in cows. *Theriogenology* 1995; 43:1405-1418.
- Gallego MI. Manejo del problema reproductivo en ganado de leche. Medellín: ANALAC, ICA; 1988.
- Galvis R, Correa H. Interacciones entre el metabolismo y la reproducción en la vaca lechera. ¿es la actividad gluconeogénica el eslabón perdido? *Rev Col Cienc Pec* 2002; 15:36-50.
- Galvis R, Correa H, Ramírez F. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* 2003; 16:237-248.
- Gaviria G, Gutiérrez N, Molina E, Ruiz I, Tamayo C. Estudio de la infertilidad bovina en zonas lecheras de Antioquia. Medellín: Secretaría de Agricultura, Universidad de Antioquia, ICA, Colanta; 1999. 100p.
- Gerloff BJ. Dry cow management for the prevention of ketosis and fatty liver in dairy cows. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2000; 16:283-292.
- Guedón L, Saumande J, Dupron F, Couquet C, Desbals B. Serum cholesterol and triglycerides in postpartum beef cow and the relationship to the resumption of ovulation. *Theriogenology* 1999; 51:1405-1415.
- Heinrichs J and Lammers B. Monitoring dairy heifer growth. Pennsylvania State University 2001; [Fecha de acceso: agosto 15 de 2002] URL: <http://www.das.psu.edu/dcn/calfmgt/growth/docs/measure.html>.
- Holdridge LR. Ecología basada en zonas de vida. San José de Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura; 1996.
- Kampl B, Zdelar F, Pracny G, Martincic T. Relationship between concentrations of fat in milk, and very low density lipoproteins cholesterol fraction in blood and incidence of productive diseases in dairy cows. *Vet-Arhiv*. 1995; 65:149-154; Abs. In: *Beast CD*, 1987 - may 1999.
- Kaneko JJ. Clinical biochemistry of domestic animal. 4<sup>th</sup> ed. San Diego: Academic Press; 1989.
- Kumar H, Nakao T, Higaki T, Suzuki T, Akita M. Resumption of postpartum ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows. *Theriogenology* 2004; 61:637-649.
- Lucy MC, Staples CR, Michel FM, Thatcher WW. Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *J Dairy Sci* 1991; 74: 473-482.
- Lucy MC, Savio JD, Badinga L, De La Sota RL, Thatchers WW. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J Animal Sci* 1992; 70:3615-3626.
- Mertens DR. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages, Animal and Dairy Science dept, Athens: Proc. Cornell Nutr; 1983.
- Miettinen A. Prevention of bovine ketosis with glycogenic substance and its effect on fertility in Finnish dairy cows. *Berl Munch Tier Woch*. 1995; 108:14-19.
- National Research Council. The nutrient requirement of dairy cattle. 7th revised edition. Washington: National Academy Press, 2001.
- National Research Council. The nutrient requirements of dairy cattle. 6th edition. Washington: National Academy of Sciences, 1989.

27. Nebel R L, McGilliard ML. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 1993; 76:3257-3268.
28. Perry R, Coran L, Cochra R, Beal W, Stevenson J, *et al.* Influence of dietary energy on follicular development serum gonadotrophins and first postpartum ovulation in suckled beef cows. *J Anim Sci* 1991; 69: 3762-3773.
29. Pierson R, Kastelic J And Ginther O. Basic principles and techniques for transrectal ultrasonography in cattle and horses. *Theriogenology* 1988; 29:3-18.
30. Prado R, Rhind S, Wright L, Russel A, Mcmillen S, *et al.* Ovarian follicle populations, steroidogenicity and micromorphology on 5 and 9 weeks postpartum in beef cows in two levels of body conditions. *Animal Prod* 1990; 54:103-108.
31. Puppione DL. Implications of unique features of blood lipid transport in the lactating cow. *J Dairy Sci* 1978; 61: 651-659.
32. Raphael BC, Dimick PS, and Puppione DL. Lipid characterization of bovine serum lipoproteins throughout gestation and lactation. *J Dairy Sci* 1973; 56:1025-1032.
33. SAS User's Guide: Statistics, version 7. 1988. SAS Institute Inc., Cary, NC.
34. Sevinç M, Basoglu A, Öztok I, Sandıkçi M, Birdane F. The clinical-chemical parameters, serum lipoproteins and fatty infiltration of the liver in ketotic cows. *Turk J Vet An Sci* 1998; 22:443-447.
35. Sommer H. The role of the metabolic profile test in the control of cattle feeding, Magyar Állatorvosok Lapja. *Memorias del Segundo Seminario Internacional en reproduccion y metabolismo de la vaca lechera*; Manizales: Universidad de Caldas; 1999. 714 – 717 p.
36. Stalling C. Transition Cow Nutrition. In: *Pocceedings Virginia Tech. Feed and nutritional management cow College*; 1999. [Consultada en Julio 8 de 2001] URL: <http://www.dasc.vt.edu/nutritioncc/ccs99.pdf>.
37. Theera R, Wensing T, Geelen M. Effect of fatty liver on hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82: 500-505.
38. Van den Top AM, Geelen MJ, Wensing TH, Wentink GH, Vant Klooster *et al.* Higher postpartum hepatic triacylglycerol concentration en dairy cows with free rather than restricted access to feed during dry period are associated with lower activities of hepatic glycerolphosphate acyl transferase. *J Nut.* 1996; 126: 76-85.
39. Van Soest PJ, Robertson JB. Analysis of forage and fibrous foods. A laboratory manual for animal science. Ithaca: Cornell University; 1985. 503p.
40. West JW, Mullinix BG, and Sandifer TG. Effects of bovine somatotropin on physiologic responses of lactating Holstein and Jersey cows during hot, humid weather. *J Dairy Sci* 1991 74:840-851.
41. Working Group on Lipoprotein Measurement. Recommendations on lipoprotein measurement. National cholesterol education program. Washington: National Institutes on Health. NIH publication N. 95-3044, 1995.