



## Influencia del mérito genético para la producción de leche en un hato holstein sobre el balance energético, indicadores del metabolismo energético y la reactivación ovárica posparto<sup>1</sup>

**R**evista  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarias

*Influence of genetic merit for milk production of a holstein herd, on energy balance, metabolic profiles and the postpartum ovarian resumption*

Rubén D Galvis<sup>1\*</sup>, Zoot, MS; Edwin A Múnera<sup>2</sup>, Zoot; Andrés M Marín<sup>2</sup>, Zoot.

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

<sup>2</sup>Zootecnista, profesional independiente, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia  
rdgalvis@unalmed.edu.co

(Recibido: 18 julio, 2005; aceptado: 20 septiembre, 2007)

### Resumen

*El propósito de este trabajo fue determinar la influencia del mérito genético para la producción de leche sobre el balance energético, los indicadores del metabolismo energético y la reactivación ovárica posparto. Para este estudio, se utilizaron 10 vacas Holstein puras de diferente mérito genético para la producción de leche, que se alimentan bajo un sistema de pastoreo rotacional con suplementación de concentrado. A estos animales se les realizó un seguimiento durante los 10.4 (± 2.5), 21.6 (± 4.3), 31.8 (± 4.5), 42.3 (± 4.2), y 51.9 (± 3.9) días posparto, los cuales constituyeron los periodos de muestreo. En cada muestreo, los animales fueron pesados con cinta métrica, se les evaluó la con se estimó su balance de energía. Además, se tomaron muestras de suero sanguíneo para evaluar las concentraciones de glucosa y colesterol; y se efectuó un seguimiento de la reactivación ovárica por ultrasonografía. La mayoría de las vacas reiniciaron su actividad ovárica en la segunda semana posparto y más de la mitad presentaron su primera ovulación durante el periodo experimental. Se encontró una relación estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) y con pendiente negativa entre el mérito genético para la producción de leche y la magnitud del nadir del BEN, sin embargo el mérito genético no tuvo influencia significativa sobre los días al nadir del BEN, dado que las vacas de mérito genético alto, como bajo incrementaron el consumo y la producción de leche siguiendo patrones similares, pero con magnitudes diferentes. De igual forma el mérito genético no se relacionó significativamente con los días a la primera ovulación. Además, ninguna de las variables del balance de energía, ni los metabolitos sanguíneos afectaron los días a la primera ovulación o el número de folículos clasificados por tamaño. Pese a esto, el grupo de vacas que ovuló durante el periodo experimental, presentó concentraciones plasmáticas de colesterol significativamente más altas ( $p = 0.07$ ) y concentraciones plasmáticas de glucosa significativamente ( $p < 0.05$ ) más bajas que*

<sup>1</sup> Para citar este artículo: Galvis RD, Múnera EA, Marín AM, Influencia del mérito genético para la producción de leche en un hato holstein sobre el balance energético, indicadores del metabolismo energético y la reactivación ovárica posparto. Rev Col Cienc Pec 2007; 20:455-471.

\* Autor para el envío de la correspondencia y la solicitud de separatas: Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. AA 1779, Medellín, Colombia. E-mail: rdgalvis@unalmed.edu.co

*el grupo de vacas que no ovuló durante dicho periodo. Los resultados de esta investigación sugieren que el mejoramiento genético para la producción de leche puede afectar el balance de energía de las vacas en el posparto temprano; pese a esto el mérito genético para la producción de leche no afectó, como tal, la reactivación ovárica posparto.*

**Palabras clave:** *mejoramiento genético, nadir de balance energético negativo, perfiles metabólicos, ovulación en vacas*

### Summary

*The aim of this research was to establish the genetic merit for milk yield influence on energy balance, energy metabolic profiles and the postpartum ovarian resumption. In this research, 10 pure-Holstein Friesian dairy cows, varying in genetic merit values for milk yield and fed on a rotational-grazing system with a supplementary concentrate ration were used. A series of examinations were performed on 10.4 ( $\pm 2.5$ ), 21.6 ( $\pm 4.3$ ), 31.8 ( $\pm 4.5$ ), 42.3 ( $\pm 4.2$ ), and 51.9 ( $\pm 3.9$ ) postpartum days. In every sampling day animals were weighed by tape measure, their body condition score were calculated and the energy balance was estimated for every cow. In addition, blood serum tests were performed to analyze glucose and cholesterol blood concentration and an ultrasonographic assessment was executed to determine ovarian resumption. Nearly all cows had an ovarian resumption on the second week postpartum and more than a half had shown their first postpartum ovulation on the trial period. The genetic merit values for milk yield were not related with production values, therefore, the dependent variables of milk yield did not fluctuate with genetic merit. There was a significant negative relationship ( $p < 0.05$ ) between genetic merit for milk production and the nadir extent of net energy balance (NEB). Although, the genetic merit did not have significant influence on the number of days between calving to the nadir-attaining day, because high genetic merit cows as low genetic merit cows increased the intake and milk yield following similar patterns, but with different extents. In the same way, the genetic merit did not have significant relationship with the interval of calving to first ovulation. Furthermore, no one of the energy balance variables or blood metabolites influenced the interval of calving to first ovulation or the amount of follicles classified by size. In spite of these facts, the ovulating-cow group in the trial period had plasmatic cholesterol concentration significantly higher ( $p = 0.07$ ) and plasmatic glucose concentration significantly lower ( $p < 0.05$ ) than non-ovulating-cow group in the same period. These results suggest that, genetic improvement for milk production could influence the cow energy balance on early postpartum; in spite of these results, the genetic merit for milk production did not affect, by itself, the postpartum ovarian resumption.*

**Key Words:** *energy balance, genetic improvement, negative energetic balance nadir, ovulation in cows, metabolic profiles*

### Introducción

En la actualidad se ha visto reflejado que conforme la producción de leche ha aumentado, ha desmejorado el desempeño reproductivo de las vacas (9, 10, 40). Las ganaderías de nuestro país no han sido ajenas a esta problemática debido a que allí se ha realizado un mejoramiento genético intenso, sin embargo, las condiciones nutricionales y de manejo no han evolucionado de la misma manera.

Las razones fisiológicas de este antagonismo no están bien determinadas. Algunos investigadores creen que es sólo una cuestión de deficiencia nutricional debido a la mayor demanda que implica una mayor producción de leche (10, 40) y sugieren

que la selección genética para la producción de leche no es la causa de una baja fertilidad. Por otra parte, en una monografía (20) se afirma que la caída en la fertilidad no es sólo una cuestión nutricional sino que también involucra factores fisiológicos y de manejo dentro de la explotación.

Existen varios factores que afectan la reactivación ovárica posparto en las vacas lecheras, tales como: consumo de materia seca (36, 47), producción de leche (47, 50), balance de energía (10, 25) y el equilibrio metabólico y hormonal (4, 19, 28), entre otros. Otros investigadores (47), sugieren que la selección genética para la producción de leche ha resultado en animales con mayores producciones y además con mayor consumo de materia seca.

Bajo nuestras condiciones de producción y en concordancia con lo anterior, es probable que sea muy difícil satisfacer las necesidades energéticas de la vaca de alto mérito genético para la producción lechera; por consiguiente este tipo de animales estará sometido a condiciones metabólicas adversas, las cuales afectan el balance hormonal óptimo para una temprana reactivación ovárica posparto.

El propósito de este trabajo fue determinar la influencia del mérito genético para la producción de leche sobre el balance energético, los indicadores del metabolismo energético y sobre la reactivación ovárica posparto.

## Materiales y métodos

### Localización

El trabajo se realizó en el centro agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional, sede Medellín, ubicado a 2400 msnm, con una temperatura promedio de 14 °C y una humedad relativa promedio de 80%.

### Animales y dieta

En el diseño del trabajo se utilizaron 10 vacas holstein multíparas, tratando de incluir animales que estuvieran dentro del rango de variación del mérito genético para la producción de leche del ható en estudio y que ingresaran al experimento con 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 a su nivel de producción de leche, además de un suplemento mineral a voluntad.

### Mérito genético para la producción de leche

Estas estimaciones fueron suministradas por el Laboratorio de Mejoramiento Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, que fueron elaboradas con base en los registros de las lactancias comprendidas entre 1959 y 2003 de la hacienda Paysandú. El mérito genético de los animales (Mer Gen) fue estimado con los métodos del modelo animal, utilizando el sistema MTDFREML (Quijano JE. Profesor Asociado, Departamento de producción animal, Universidad

Nacional de Colombia sede Medellín; 2005, comunicación personal). El modelo utilizado fue:

$$Y = XB + Zg + Zp + e \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde  $Y$  es el vector de observaciones de producción de leche (con 305 días de lactancia y equivalente maduro);  $X$  es la matriz de incidencia de efectos fijos (año, época de partos);  $B$  es el vector de efectos fijos desconocidos;  $Z$  es la matriz de incidencia de efectos aleatorios;  $g$  es el vector de valores genéticos a predecir;  $p$  es el vector de efecto permanente del medio en los registros repetidos de las vacas;  $e$  es el vector de los errores aleatorios.

### Toma de muestras

A las vacas se les evaluó la condición la corporal y su peso fue estimado con cinta métrica siguiendo la metodología propuesta por Gallego (24) y Henrich y Lammers (18), respectivamente. Se tomaron muestras de sangre y se les practicó una ultrasonografía ovárica al momento de ingresar al seguimiento ( $10.4 \pm 2.5$  días posparto), y los días  $21.6 (\pm 4.3)$ ,  $31.8 (\pm 4.5)$ ,  $42.3 (\pm 4.2)$ , y  $51.9 (\pm 3.9)$  posparto, los cuales se constituyeron los periodos de muestreo. Diariamente se registró la información de producción lechera y de la suplementación alimenticia ofrecida a cada animal y con una frecuencia mensual se tomaron muestras de forraje que fueron analizadas químicamente para la determinación de FDN por el método de Van Soest (38).

### Muestreo y análisis de suero

Las muestras de sangre se tomaron de la vena yugular utilizando tubos al vacío. Después se dejaron reposar por 15 minutos a 37 °C y se centrifugaron entre 2600 a 3000 rpm/15 min. Se separó el suero y se envasó en viales en alícuotas de 2.0 ml. Todas las muestras fueron almacenadas a -20 °C hasta su análisis. En las muestras de sangre se cuantificaron las concentraciones de glucosa y colesterol total utilizando los kits Glucosa oxidasa/peroxidasa® y Colesterol oxidasa/peroxidasa® (BioSystems, Middletown, USA), respectivamente. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Fisiología Animal del Departamento de Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

### Balance energético

El balance de energía neta de lactancia se estimó para cada animal y en cada periodo de muestreo, el cual se expresó como porcentaje de los requerimientos del animal (BE %), el intervalo entre el parto y el valor del balance de energía más bajo o nadir del BEN (Días Nadir) y la magnitud del nadir del balance de energía (Nadir BEN), los cuales constituyeron las variables de balance energético. La estimación del balance de energía neta de lactancia ( $EN_l$ ), se calculó por la diferencia entre los requerimientos estimados de acuerdo a los parámetros establecidos por el NRC (39) y los aportes estimados que hacen el forraje y el suplemento alimenticio consumidos por cada animal durante cada muestreo. Los requerimientos de  $EN_l$  se estimaron utilizando el software de los requerimientos nutricionales para vacas lecheras del NRC (39).

Para estimar la energía neta de lactancia ( $EN_l$ ) aportada por el forraje se utilizó la ecuación 2 propuesta por Mertens (38). Para esto, las muestras de pasto se enviaron al Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de la Universidad Nacional, Sede Medellín, para determinar la fracción de fibra en detergente neutro (FDN).

$$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = 2.86 - 0.0262 (\%FDN) \text{ (ecuación 2)}$$

La estimación del contenido de  $EN_l$  del suplemento alimenticio se realizó utilizando la ecuación 3 propuesta por el NRC (39) a partir del porcentaje del total de nutrientes digestibles (TDN). Los valores de TDN fueron los suministrados por la empresa productora de alimentos.

$$EN_l \text{ (Mcal/kg)} = (0.0245 (\%TDN)) - 0.12 \text{ (ecuación 3)}$$

El consumo total de materia seca (CMS) se estimó utilizando el software NRC (39). Los valores de grasa de la leche fueron suministrados por la empresa compradora de leche. Por su parte, el consumo de MS del forraje se estimó como la diferencia entre CMS y el consumo de MS del suplemento alimenticio. Con base en éstos y el contenido de  $EN_l$  tanto del forraje como del suplemento alimenticio, se calculó el consumo total de energía.

### Determinación de la reactivación ovárica

Esta se realizó a través de ultrasonografía ovárica: para tal efecto, a cada vaca se le practicó una ultrasonografía ovárica al momento de ingresar al seguimiento (día 10 posparto), y a los 10.4 ( $\pm$  2.5), 21.6 ( $\pm$  4.3), 31.8 ( $\pm$  4.5), 42.3 ( $\pm$  4.2), y 51.9 ( $\pm$  3.9) días posparto. Para el examen ecográfico se utilizó un ecógrafo de tiempo real y modo B (Pie Medical 240 Parus Vet, Róterdam, Holanda), dotado con una sonda trasrectal de 8 MHz, siguiendo las recomendaciones de Pierson *et al* (41): se contó el número de folículos mayores a 2 mm, se midieron los diámetros mayor y menor de los folículos dominantes, de los folículos subordinados más grandes y los diámetros mayor y menor del cuerpo lúteo. Los folículos fueron clasificados por tamaño en cuatro grupos siguiendo la metodología propuesta por Lucy *et al* (37) que se puede observar en la tabla 1. Para cuantificar el periodo del parto a la primera ovulación (DPO), ésta se determinó por la desaparición del folículo dominante entre dos exámenes consecutivos y la subsiguiente formación del cuerpo lúteo. De esta forma, el momento a la primera ovulación se registró como un intervalo entre dos periodos de muestreo.

**Tabla 1.** Clasificación de los folículos por tamaño y sus caracteres fisiológicos.

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

Fuente: (37).

### Análisis estadístico

Para las diferentes pruebas estadísticas se utilizó el software estadístico Statgraphics Plus

for Windows, versión 4.0 (45): varios análisis de varianza se realizaron para establecer la variación del peso vivo, la producción de leche, el cambio

de peso, las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol y el número de folículos de cada tipo en función de los periodos de muestreo; la prueba de Duncan se empleó para establecer diferencias entre medias; y mediante el ajuste de ecuaciones de regresión se establecieron relaciones entre el mérito genético para la producción de leche, con las variables del balance de  $EN_l$ , las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol y el número de folículos para cada grupo. De igual manera, se establecieron relaciones entre las variables del balance de  $EN_l$  con las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol, con el número de folículos para cada grupo; entre el nadir del BEN y los días a la primera ovulación; y entre las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol, y el número de folículos para cada grupo. Por último, para evaluar si

existían diferencias significativas en los promedios de mérito genético para la producción de leche, BE%, Nadir BEN, días nadir, condición corporal al parto, producción de leche, colesterol y glucosa de los grupos de vacas que ovularon y no ovularon, se realizó una prueba entre medias (prueba de *t*) para dichas variables.

## Resultados

### *Características de los animales estudiados*

En la tabla 2 se consignan las características de mérito genético para la producción de leche, peso y condición corporal al parto y producción diaria de los animales estudiados.

**Tabla 2.** Características de los animales del estudio.

Variable	Mediana	Promedio	D.E.	CV %	Rango
Mérito genético (kg)	320.5	321.2	196.28	61.11	-21-595
Precisión mérito genético (%)	52.0	51.5	9.02	17.52	35-66
Producción de leche promedio		31.9	4.96	15.56	20.5-43.9
Condición corporal al parto		3.25	0.5	15.49	2.4-4.0
Peso al parto (kg)		615.3	72.38	11.76	525-731

### *Eventos reproductivos*

De un total de diez vacas, a nueve se les encontró desarrollo folicular a partir de los 10 días posparto, mientras que a la otra vaca se le diagnosticó metritis puerperal y sólo se le observó desarrollo folicular a partir de los 32 días posparto. Durante el periodo experimental se detectó cuerpo lúteo a seis de las diez vacas, con un tiempo promedio para la detección del primer cuerpo lúteo de  $32.4 \pm 12.9$  días. Además, cinco vacas desarrollaron quistes, y de éstas, a tres, no se les detectó cuerpo lúteo.

### *Variables principales en función de los días de muestreo*

En la tabla 3 se consignan los análisis de varianza para las principales variables de este trabajo. Como puede observarse las concentraciones de glucosa, la producción de leche, el peso vivo y el número promedio de folículos tipo I, II, III

y IV, no presentaron variaciones significativas entre los periodos de muestreo. De otro lado, las variables colesterol plasmático, balance de energía expresado como porcentaje de los requerimientos BE (%) y el cambio de peso presentaron variaciones significativas ( $p < 0.01$ ) entre los periodos de muestreo.

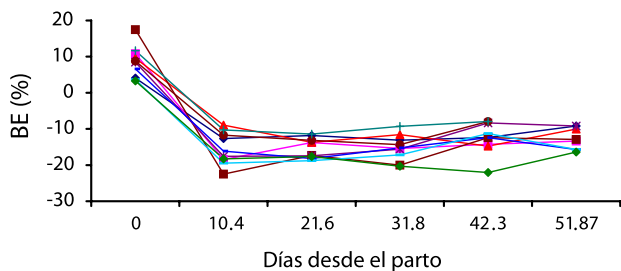
La figura 1 ilustra la variación del BE % por vaca en función de los periodos de muestreo. Al momento del parto (muestreo cero), todos los animales presentaron balances de energía positivos que variaron entre 3.25 % y 17.46% de sus requerimientos. En los cinco muestreos siguientes los animales estaban en balance de energía negativo que varió entre -8.36% y -22.51% de sus requerimientos. El nadir del balance de energía tuvo un promedio de  $-17 \pm 4$  % de los requerimientos y en promedio se presentó a los  $27 \pm 15$  días postparto.



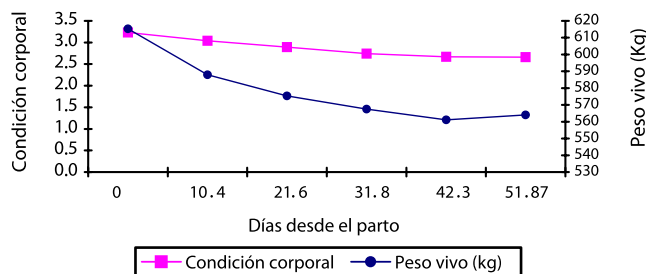
**Tabla 3.** Resumen del comportamiento de algunas variables en función de los periodos de muestreo

	Periodos de muestreo (días al parto)						1P
	Cero	10.4	21.6	31.8	42.3	51.8	
Condición corporal	3.233 <sup>b</sup>	3.04 <sup>ab</sup>	2.89 <sup>ab</sup>	2.74 <sup>a</sup>	2.67 <sup>a</sup>	2.66 <sup>a</sup>	0.0544
BE (% de requerim.)	8.426 <sup>a</sup>	-15.6 <sup>b</sup>	-15.331 <sup>b</sup>	-15.221 <sup>b</sup>	-12.382 <sup>b</sup>	-12.81 <sup>b</sup>	0.0000
Peso (kg)	615.3 <sup>a</sup>	588.0 <sup>a</sup>	575.5 <sup>a</sup>	567.5 <sup>a</sup>	561.2 <sup>a</sup>	564.0 <sup>a</sup>	0.4178
Cambio de peso (Kg)		-27.2 <sup>a</sup>	-12.7 <sup>b</sup>	-7.9 <sup>b</sup>	-6.5 <sup>b</sup>	-4.375 <sup>b</sup>	0.0000
Prod. Leche (kg)		30.036 <sup>a</sup>	32.345 <sup>a</sup>	32.977 <sup>a</sup>	31.555 <sup>a</sup>	31.922 <sup>a</sup>	0.7632
Glucosa (mg /dl)		48.592 <sup>a</sup>	43.290 <sup>a</sup>	45.171 <sup>a</sup>	43.461 <sup>a</sup>	45.855 <sup>a</sup>	0.7966
Colesterol (mg /dl)		109.233 <sup>a</sup>	144.467 <sup>b</sup>	172.133 <sup>bc</sup>	200.467 <sup>cd</sup>	213.25 <sup>d</sup>	0.0000
Folículos tipo I (n)		5.6 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	3.75 <sup>a</sup>	0.4382
Folículos tipo II (n)		1.1 <sup>a</sup>	1.7 <sup>a</sup>	1.5 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	0.7486
Folículos tipo III (n)		0.3 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.375 <sup>a</sup>	0.6873
Folículos tipo IV (n)		0.1 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.125 <sup>a</sup>	0.4233

<sup>1</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I; medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p>0.05).



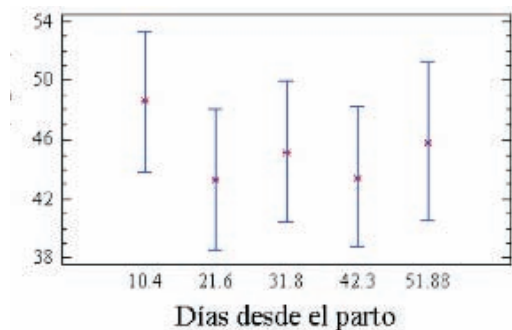
**Figura 1.** Balance de energía neta de lactancia según el periodo de muestreo. \*Cada línea representa una vaca.



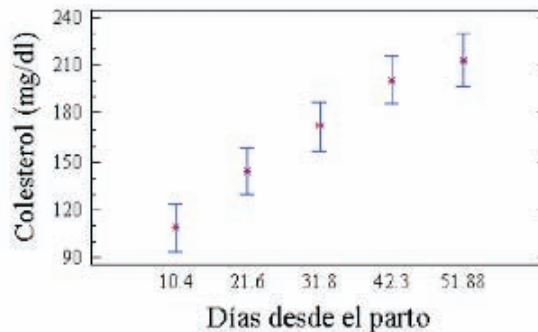
**Figura 2.** Promedios de peso y condición corporal según el periodo de muestreo.

Para la condición corporal se presentaron diferencias ( $p < 0.054$ ) entre los periodos de muestreo. La figura 2 ilustra la variación del peso y la condición corporal por periodos de muestreo.

Las figuras 3 y 4 ilustran, respectivamente, la variación de las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol en función de los periodos de muestreo.



**Figura 3.** Concentración plasmática de glucosa según el periodo de muestreo \*(promedio  $\pm$  D.E).

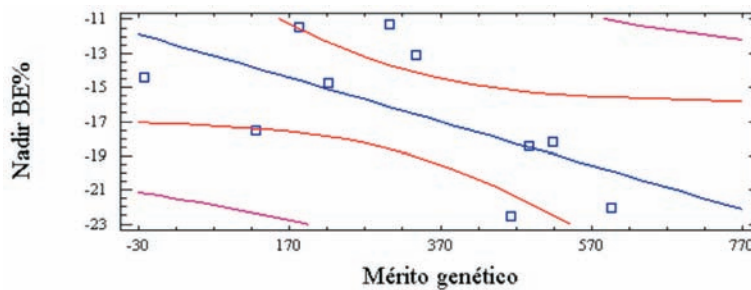


**Figura 4.** Concentración plasmática de colesterol según el periodo de muestreo \*(promedio  $\pm$  D.E).

*Relación entre variables*

En las tablas 4, 5 y 6, se consignan los resultados de las regresiones lineales exploradas entre las principales variables de la investigación. Como puede observarse en la tabla 4 se encontró una relación estadísticamente significativa ( $p = 0.053$ )<sup>1</sup> y con pendiente negativa entre el mérito genético para

la producción de leche y el nadir del BEN expresado como porcentaje de los requerimientos del animal, lo que quiere decir que estas variables se relacionaron negativamente (véase Figura 5). La relación entre el mérito genético para la producción de leche y BE % no fue significativa, pero se observa una tendencia similar a la relación anterior.



**Figura 5.** Variación del nadir del balance de energía en función del mérito genético. Los cuadros azules representan los valores observados, mientras que la línea azul representa la regresión ajustada y las líneas rojas indican el intervalo de confianza (95%), la línea fucsia separa este de los valores atípicos, los cuales en esta figura corresponden al balance energético preparto.

No se encontraron relaciones significativas entre: el mérito genético para la producción de leche y los días al nadir del balance de energía; entre el mérito genético y los días a la primera ovulación; entre los días al nadir del balance de energía con los días a la primera ovulación; entre el nadir del balance de energía como porcentaje de los

requerimientos con los días a la primer ovulación; entre el balance de energía como porcentaje de los requerimientos y las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol; ni entre el balance de energía expresado como porcentaje de los requerimientos y el número de folículos tipo I, II, III, y IV.

**Tabla 4.** Ecuaciones de regresión que caracterizan la relación entre el mérito genético y el balance de energía con las demás variables.

Variable independiente	Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
Mer Gen	BE (%)	-6.9673	-0.0104372	0.04	0.126
Mer Gen	Nadir BE (%)	-12.2417	-0.0128754	0.39	0.0529
Mer Gen	Días nadir (días)	28.2181	-0.0041036	0.003	0.8792
Mer Gen	DPO (días)	38.2728	-0.0187397	0.10	0.5368
Nadir BE (%)	DPO (días)	63.65	1.83056	0.29	0.2620
Días nadir (días)	DPO (días)	30.91	0.0695392	0.004	0.8990
BE (%)	Chol (mg/ dl)	203.723	2.62669	0.04	0.1684
BE (%)	Glu (mg/ dl)	40.5774	-0.325499	0.01	0.4190
BE (%)	Fol I (n)	4.97967	0.0580926	0.003	0.7069
BE (%)	Fol II (n)	0.670028	-0.0433089	0.015	0.4018
BE (%)	Fol III (n)	0.374312	-0.010208	0.002	0.7448
BE (%)	Fol IV (n)	0.214779	0.00480339	0.002	0.7316

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación; <sup>2</sup>probabilidad de cometer el error tipo I; (n) número de observaciones.

<sup>1</sup> Nota del editor. La diferencia estadística significativa se considera sobre valores que tengan un valor de p inferior a 0.05 ( $p < 0.05$ ); sin embargo, en el campo de la producción animal, algunos autores admiten valores de p menores de 0.1, como diferencias estadísticas significativas (como es el caso de los autores del presente trabajo).

Tampoco se encontraron relaciones significativas entre las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol ni entre estas concentraciones con el número de folículos tipo I, II, III, y IV. Por el contrario, se encontró una relación altamente significativa ( $p < 0.01$ ) entre la producción de leche por muestreo y el balance energético expresado en porcentaje; y entre la producción de leche acumulada durante el periodo experimental con el

nadir del BEN y con los días a la primera ovulación ( $p < 0.05$ ).

No hubo relación significativa entre la producción de leche acumulada con el mérito genético, ni con los días en que se presentó el nadir del BEN. Tampoco se encontró relación significativa entre la producción de leche por muestreo y las concentraciones plasmáticas de glucosa y colesterol.

**Tabla 5.** Ecuaciones de regresión que caracterizan la relación entre los metabolitos y el número de folículos de diferentes tipos.

Variable independiente	Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
Chol (mg/ dl)	Fol I (n)	4.67888	-0.00321074	0.0016	0.7871
Chol (mg/ dl)	Fol II (n)	0.840488	0.00271761	0.01	0.4947
Chol (mg/ dl)	Fol III (n)	0.300928	0.00132457	0.006	0.5825
Chol (mg/ dl)	Fol IV (n)	0.0853765	0.000364152	0.002	0.7353
Glu (mg/ dl)	Chol (mg/ dl)	209.131	-0.952712	0.039	0.1733
Glu (mg/ dl)	Fol I (n)	6.10365	-0.0432673	0.012	0.4440
Glu (mg/ dl)	Fol II (n)	1.85466	-0.012442	0.009	0.5120
Glu (mg/ dl)	Fol III (n)	1.20331	-0.0150826	0.037	0.1857
Glu (mg/ dl)	Fol IV (n)	0.0552286	0.00200234	0.003	0.6966

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación; <sup>2</sup>probabilidad de cometer el error tipo I; (n) número de observaciones.

**Tabla 6.** Ecuaciones de regresión que caracterizan la relación entre la producción de leche por muestreo y la producción acumulada durante el periodo con las demás variables

Variable independiente	Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
Prod de leche acum (kg)	Mer gen	124.933	-0.543296	0.05	0.5285
Prod de leche (kg)	BE (%)	-3.61947	-0.33797	0.2	0.0014
Prod de leche acum (kg)	Nadir BE (%)	1.92699	-0.115308	0.4	0.0475
Prod de leche acum. (kg)	Días nadir (días)	60.7094	-0.212984	0.1	0.3566
Prod de leche acum (kg)	DPO (días)	124.933	-0.543296	0.66	0.0475
Prod de leche (kg)	Chol (mg/ dl)	136.812	0.919644	0.0008	0.5256
Prod de leche (kg)	Glu (mg/ dl)	59.3686	-0.444547	0.04	0.1396

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación; <sup>2</sup>probabilidad de cometer el error tipo I.

#### *Diferencia de medias entre las vacas que ovularon y las que no ovularon durante el periodo de muestreo*

Los resultados de la prueba de medias para las variables más influyentes en la investigación entre

las vacas que ovularon y las que no ovularon se consignan en la tabla 7. Sólo se presentaron diferencias significativas para el promedio de producción de leche por día y para los valores plasmáticos de glucosa y colesterol.



**Tabla 7.** Comparación de medias para las principales variables entre vacas que ovularon y no ovularon.

Ovulación número de vacas	Si 6	No 4	<sup>1</sup> P
Mérito genético (kg)	312.5 ± 219.9 <sup>a</sup>	334.25 ± 185.9 <sup>a</sup>	0.87
BE (%)	-11.929 ± 8.7 <sup>a</sup>	-9.709 ± 8.8 <sup>a</sup>	0.35
Nadir BE (%)	-18.49 ± 2.67 <sup>a</sup>	-15.35 ± 4.67 <sup>a</sup>	0.20
Días al nadir BE	21.67 ± 12.5 <sup>a</sup>	34.75 ± 15.4 <sup>a</sup>	0.17
Chol (mg/ dl)	176.29 ± 48.9 <sup>b</sup>	150.33 ± 46.1 <sup>a</sup>	0.07
Glu (mg/ dl)	42.79 ± 7.4 <sup>a</sup>	48.99 ± 12.9 <sup>b</sup>	0.04
CC al parto	3.3 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.6 <sup>a</sup>	0.67
Leche (kg/día)	33.97 ± 3.6 <sup>b</sup>	29.35 ± 1.1 <sup>a</sup>	0.03

Valores con letra diferente son significativamente diferentes

<sup>1</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I

## Discusión

### *Características de los animales estudiados*

Los animales utilizados en el estudio, poseen valores de mérito genético para la producción de leche que son representativos del hato. Dichos valores están distribuidos normalmente, ya que el resultado de la media y la mediana son casi iguales, lo que expresa que había animales de mérito genético bajo, medio y alto. La precisión promedio de la estimación del mérito genético es baja (Quijano J. E. Profesor Asociado Departamento de producción animal, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín; 2005, comunicación personal), esto se debe a que todos los animales estaban entre la segunda y sexta lactancia lo que se traduce en un rango para la precisión de entre 35 a 66%.

Al correlacionar los datos de mérito genético con la producción acumulada durante el periodo experimental para cada vaca, se encontró un coeficiente de correlación bajo con un valor de 0.22. Del mismo modo, cuando se relacionaron la producción de leche con el mérito genético a través de una regresión lineal, se encontró un coeficiente de determinación de 0.05, sin significancia de la regresión ( $p > 0.05$ ). Lo anterior tiene profundas consecuencias sobre la interpretación de los resultados encontrados en este trabajo, ya que se partió de la hipótesis de que vacas con diferente mérito genético para la producción de leche presentaban

diferencias significativas en producción de leche, y por consiguiente las variables dependientes de ésta, como BE %, nadir BEN, días al nadir y probablemente perfiles metabólicos y dinámica folicular, serían diferentes en concordancia con el mérito genético.

El promedio de producción diaria de leche durante los primeros 50 días de lactancia fue de 31.9 kg, valor superior al reportado por otros autores. Es así como en investigaciones previas (19), reportaron un promedio de producción diaria de 26.6 kilogramos por vaca al día 35 de lactancia para un hato puro holstein registrado y manejado bajo las mismas condiciones.

El grado de condición corporal recomendado por algunos expertos para el momento del parto es de 3.0 a 3.5 (49); los animales de este estudio llegaron con una condición corporal promedio de 3.25. Estos resultados muestran que el promedio de la condición corporal al parto estuvo en el intervalo de los valores recomendados; sin embargo, este valor estuvo más cerca del límite inferior recomendado ya que otra fuente (29) considera un valor óptimo de 3.5 y no mayor a 4.0. La desviación estándar para esta variable fue de 0.5 y el rango osciló entre 2.4 y 4.0, lo que denota una alta variabilidad en el grado de acondicionamiento de las vacas, posiblemente debida a condiciones particulares de la lactancia previa.

El peso al momento del parto fue ligeramente inferior al reportado para la raza holstein, ya que la Asociación Holstein de Colombia reporta un peso promedio de 650 kg en vacas adultas (3). Sin embargo, otros autores reportaron un peso promedio al momento del parto de 594 kg para vacas de características similares (19), lo que hace pensar que el peso promedio del hato Paysandú sea superior al promedio de los demás hatos de la región.

El cambio de peso varió de -27.2 kg para el periodo comprendido entre el parto y el día 10 posparto, a -4.3 kg para el periodo comprendido entre el día 40 y 50 posparto. En nuestro medio pocos trabajos han determinado el cambio de peso o su variación. Teniendo en cuenta que la variación del peso vivo obedece a las condiciones impuestas por el balance energético, es difícil realizar comparaciones adecuadas con otras investigaciones; sin embargo, en nuestro medio se han reportado pérdidas de peso similares a las encontradas en esta investigación, es así como en otra investigación previa (19), se reportaron pérdidas de peso promedio de 10.32 kg, para el periodo comprendido entre los 12 y 24 días, y de 5.05 kg para el periodo entre los 24 y 35 días. Cabe destacar que las discrepancias encontradas entre estas investigaciones pueden ser debidas a las diferencias en el promedio de producción de leche. Por su parte, otros autores presentaron datos de movilización de reservas corporales en vacas hasta los 84 días de lactancia muy superiores a los encontrados en este trabajo (30), lo cual era de esperarse ya que el promedio de producción de leche fue mucho mayor que el presentado aquí (aproximadamente 46 kg/vaca/día). Es posible que el método de estimación del peso de los animales haya contribuido a la variación encontrada para estos parámetros; sin embargo, el error en el que se incurre cuando se utiliza la cinta métrica es de aproximadamente 5% (24).

#### *Eventos reproductivos*

En las vacas lecheras la reactivación del ciclo estral ocurre durante las primeras semanas de lactación, según algunos autores que realizaron estudios con ultrasonografía (6), reportan que durante la segunda semana todos los animales del ensayo reiniciaban su actividad ovárica. Esto

coincide parcialmente con los resultados de este trabajo, ya que a los 20 días posparto se detectó desarrollo folicular en el 90% de los animales, lo que indica que éstos reiniciaron la actividad ovárica aproximadamente durante la segunda semana posparto.

El tiempo promedio para la primera ovulación fue de  $32.4 \pm 12.9$  días. Francisco *et al* (16) reportan que el intervalo entre el parto y la primera ovulación puede ser de aproximadamente 30 días, sin embargo, este intervalo puede variar entre 17 a 42 días (10). Por otra parte, otros autores (6) reportan que el intervalo a la primera ovulación fue significativamente diferente ( $p < 0.01$ ), las vacas que desarrollaron folículos dominantes ovulatorios en su primera onda folicular, presentaron su primera ovulación a los  $16 \pm 3.5$  días, en tanto que las vacas que no desarrollaron folículos ovulatorios demoraron  $31.7 \pm 5.4$  días para ovular y las vacas que desarrollaron quistes en la primera onda folicular presentaron su primera ovulación a los  $52.6 \pm 4.6$  días. Como se puede observar, las vacas que desarrollaron quistes fueron las que más se demoraron para su primera ovulación; esto coincide con los resultados de este estudio, ya que cinco animales presentaron quistes y, de éstos, tres no ovularon en los primeros 50 días posparto.

El número promedio de folículos tipo I, II, III y IV, no presentó variaciones significativas entre los periodos de muestreo. De manera opuesta, en otra investigación (35) 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 reportados por otros autores (35), aparentemente 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.

#### *Balance de energía*

Un trabajo realizado en condiciones similares de producción (19) mostró 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. Como se ilustra en la figura 1, los valores de balance de energía en nuestro estudio variaron de acuerdo con estos rangos. En cuanto a la variación del BE % a través de los periodos de muestreo, sólo se presentaron diferencias significativas entre el BE % al momento del parto respecto de 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 (31). En un estudio (10) se reportó 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 y realizado en Antioquia (19), 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. Además, en este periodo los animales presentan el consumo de materia seca reducido

debido a una disminución del apetito al comienzo de la producción (13).

El BEN normalmente alcanza su máximo durante la primera a segunda semana de lactancia (10). El nadir del balance de energía es un valor que no sólo significa que se alcanzó un máximo en el BEN, sino que también es un indicativo de la disminución acelerada de pérdida de energía y de la recuperación de la misma hacia un valor positivo (40). En nuestro estudio el nadir del BEN se alcanzó en promedio durante la cuarta semana posparto, pero el 40% de los animales presentaron el nadir del BEN en las dos primeras semanas. El nadir del BEN presentó una magnitud promedio de  $-5.302 \pm 1.69$  Mcal que corresponde a  $-17 \pm 4$  % de los requerimientos. En otra investigación (43) se reportó un nadir del balance de energía de -12.9 Mcal para vacas holstein. Las diferencias entre la magnitud del nadir del BEN, son debidas posiblemente a que la producción de leche y el sistema de producción son diferentes.

#### *Metabolitos sanguíneos*

*Glucosa.* El promedio para la concentración sanguínea de glucosa fue de  $45.25 \pm 10.29$  mg/dl pero esta varió en un rango de 27.63 hasta 86.58 mg/dl; es decir, que muchos valores estuvieron por fuera de los niveles considerados normales. En las vacas de mediana a alta producción lechera su glicemia varía entre 40 y 70 mg/dl (44). En estudios hechos en Antioquia se ha encontrado que para vacas de mediana a alta producción lechera los valores normales de glicemia varían entre 40 y 60 mg/dl, sin embargo se han reportado valores inferiores (36,8 mg/dl) para vacas entre las semanas 3 y 6 de la lactación (21) y estudios más recientes reportan valores entre 61.4 a 66.6 mg/dl para vacas entre los días 12 y 35 de lactancia (19). Cabe preguntarse si estas diferencias obedecen a características propias de la muestra o al manejo de la misma.

Las concentraciones de glucosa no tuvieron variación significativa entre los periodos de muestreo, sin embargo se observó un comportamiento similar al reportado por otros autores (7, 19, 28). La tendencia en la variación de los valores de glicemia fue la

siguiente: al momento del parto presentó su punto máximo, después cayó a los valores más bajos en la primera semana posparto y luego aumentó levemente a medida que avanzó la lactancia.

*Cholesterol.* El promedio para la concentración sanguínea de colesterol fue  $166.021 \pm 49.05$  mg/dl, variando en un rango de 80.333 hasta 279.667 mg/dl. Muchos valores estuvieron por encima de los valores normales de colesterol, cuyo rango es de 80 hasta 240 mg/dl (27), aún así esto es normal debido a que el colesterol tiene un amplio rango de variación influenciado por la etapa productiva y estado energético en que se encuentra el animal. Es así como en un trabajo previo (12) se reportaron valores de colesterol en sangre de  $130 \pm 30$  mg/100 ml, cuatro semanas antes del parto, de  $85 \pm 15$  mg/100 ml, entre la tercera semana antes del parto y hasta dos semanas posparto y, de  $160 \pm 15$  mg/100 ml, a partir de la tercera semana posparto.

Las concentraciones de colesterol presentaron una variación significativa entre los periodos de muestreo. Al inicio de la lactancia, cuando la producción de leche fue más alta, la concentración de colesterol presentó los valores más bajos y estos fueron incrementándose con el avance de la lactancia. Resultados similares fueron reportados por otros autores (19) para animales en condiciones similares a las del presente estudio.

#### *Relaciones entre mérito genético para la producción de leche y las demás variables*

Aunque la relación entre el mérito genético para la producción de leche y el balance de energía no fue significativa, se pudo observar una tendencia (véase Figura 5), donde a medida que aumenta el mérito genético, el balance de energía toma valores más negativos. Esto está de acuerdo con varios estudios, donde se ha señalado que el incremento del mérito genético para la producción de leche ha sido correlacionado con un balance energético negativo de mayor magnitud en el posparto temprano (8, 50). Es probable que dicha relación no fuera significativa debido a que en este trabajo el mérito genético no se correspondió totalmente con la producción de leche, la cual según el NRC (39) es el principal factor condicionante del balance energético.

La relación encontrada entre el mérito genético para la producción de leche y el nadir del BEN confirma que los animales con mayor mérito genético presentaron un nadir del BEN significativamente más negativo. Lo anterior concuerda con los resultados de otros investigadores (50), quienes también reportaron que las vacas de mérito genético alto tienen un nadir del BEN significativamente ( $p < 0.05$ ) más pronunciado y demoran más en alcanzar un balance energético positivo.

El intervalo en días entre el parto y el momento del nadir del BEN no se relacionó con el mérito genético de las vacas, lo que puede significar que dicho intervalo no depende de factores genéticos. Lo anterior puede ser debido a que las variables que condicionan la dinámica del balance de energía, tales como los incrementos en consumo y en producción de leche hasta el pico respectivo de cada variable, no están relacionados con el mérito genético para la producción de leche. En otras palabras se puede decir que tanto las vacas de mérito genético alto como bajo incrementan el consumo y la producción de leche siguiendo patrones similares, pero con magnitudes diferentes, ya que el nadir del BEN y el mérito genético si se relacionaron significativamente.

Aunque parte de la hipótesis inicial del presente trabajo planteaba que el mérito genético para la producción de leche estaba relacionado con el intervalo a la primera ovulación posparto, los resultados indican que esa asociación no existió. Similarmente, en otra investigación (50), se reportó que el mérito genético de las vacas no fue un predictor significativo para el intervalo parto a primera ovulación o parto a primer estro. Sin embargo, en este trabajo la relación entre producción de leche acumulada y los días a la primera ovulación fue significativa, lo que no está de acuerdo con otros autores (36) quienes afirman que las vacas de mayor producción no necesariamente son las vacas anéstricas. Las diferencias encontradas para las relaciones del mérito genético y la producción acumulada de leche con las demás variables, tienen su explicación dado que, en el presente trabajo el mérito genético para la producción de leche no fue un buen predictor de la producción de leche.



*Relaciones entre balance de energía y las demás variables*

Estudios previos (10, 36) indican que el balance energético negativo está fuertemente asociado con la longitud del periodo anovulatorio. Sin embargo, en este trabajo el intervalo a la primera ovulación no se relacionó con la magnitud del nadir BEN. Aunque los días a la primera ovulación han sido altamente correlacionados con el intervalo en días para alcanzar el nadir del BEN (5, 11), esta relación no resultó significativa en el presente trabajo. Estos resultados no están de acuerdo con los reportados por otros investigadores (14), quienes estudiaron el balance de energía durante 180 días en novillas de primera lactancia. Estos autores mostraron que la magnitud del nadir del balance de energía se relacionó significativamente ( $p < 0.01$ ) con el retraso del comienzo de la actividad del luteal; en general, un nadir del balance de energía de 10 MJ de NEL/d más bajo correspondió a un retraso en la ovulación de 1.25 días.

El BE % no se relacionó con el número promedio de folículos de los diferentes tipos. En otro estudio, por el contrario (35), reportaron que el balance de energía puede modificar las poblaciones foliculares antes del día 25 posparto y que después del día 25 posparto sólo ocasiona crecimiento folicular lento. Como se mencionó anteriormente los resultados de número y tamaño de folículos del presente trabajo no son comparables con los de otros autores, dado que éstos utilizaron intervalos de observación muy cortos.

En varias investigaciones (15, 19) el contenido de colesterol en la sangre ha sido un buen indicador del estado nutricional de los animales. Sin embargo, en la presente investigación la relación entre el BE % y la concentración de colesterol no fue significativa, aunque se observó una clara tendencia al aumento de los valores de colesterol conforme aumentaba el balance de energía neta de lactancia. No se encontró ninguna relación entre el BE % y las concentraciones de glucosa en plasma, a diferencia de otros autores quienes han concluido que sí existe alguna relación; por ejemplo, algunos concluyen que el balance energético negativo provoca cambios en las concentraciones de glucosa (7) mientras que

otro autor (12) determinó que la glucosa constituye un indicador del suministro de energía. Entre las razones posibles por las cuales el balance de energía no afectó el valor de glicemia, se encuentra el control homeostático preciso al cual está sometido este metabolito. Es decir, sólo cuando el animal presente alteraciones en los mecanismos homeostáticos es probable que se presenten variaciones extremas en los niveles de glicemia (2).

*Relación entre metabolitos sanguíneos*

La relación entre glucosa y colesterol no fue significativa. Esto no concuerda con los resultados de otra investigación (19), en los que se encontró una relación positiva entre colesterol y glucosa ( $p < 0.01$ ) y fue explicada en términos de la necesidad de glucosa como precursor del NADPH<sub>2</sub>, el que a su vez es el agente reductor exclusivo para los proceso de síntesis del colesterol. Aunque en otro estudio (16) encontraron que el consumo de materia seca, la producción de leche y el contenido de componentes en la leche son los factores más importantes en ocasionar cambios en las concentraciones de colesterol plasmático, más que glucosa, insulina o el factor insulinoide de crecimiento tipo I (IGF-I). Otra posible explicación a que no se encontró asociación entre la glicemia y el colesterol plasmático, radica en el hecho de que los valores de glucosa fueron relativamente estables durante los periodos de muestreo.

*Relaciones entre metabolitos sanguíneos y el número y tamaño de folículos*

En una completa revisión Anzola (1) indica que el metabolito lipídico más directamente relacionado con la función ovárica es el colesterol. Sin embargo, en nuestro estudio, el número promedio de folículos de los diferentes tipos no se relacionó con las concentraciones de colesterol. Así mismo, otros autores (19) no encontraron una asociación significativa entre el colesterol plasmático con los parámetros de función ovárica (progesterona plasmática). Estos resultados pueden tener su explicación fisiológica, dado que el colesterol suministrado al ovario no parece ser un factor inmediatamente limitante para la esteroidogénesis (42). De igual modo, la glicemia no se relacionó con el número y tamaño de los folículos. Aunque



varias investigaciones (32, 42), han demostrado la toma y utilización continua de glucosa por los folículos, ninguna ha indagado acerca del efecto de la glicemia sobre el número y tamaño de los mismos. Los folículos presentan mecanismos para contrarrestar el efecto en las variaciones de la glicemia que favorecen tanto los oocitos como las células de la granulosa (32); por lo tanto, es de esperarse un efecto reducido de la glicemia sobre el desarrollo folicular. Estas afirmaciones pueden explicar los resultados de otros autores (19), quienes no encontraron asociación entre la glicemia y la actividad ovárica.

#### *Relación entre producción de leche y las demás variables*

Como era de esperarse la producción de leche por muestreo se relacionó significativamente con el balance de energía, ya que la producción de leche es la principal función orgánica que demanda energía (4). Esto se confirmó dado que las vacas que acumularon mayor producción de leche durante el periodo experimental presentaron un nadir del balance energía significativamente más negativo. Los valores del balance energético observados en este trabajo fueron acordes con lo reportado por otros autores. Ingvarstsen y andersen (25) afirman que por lo general en las primeras semanas de lactancia el consumo de materia seca y por consiguiente, de energía, es bajo, de tal manera que la producción de leche está soportada por la movilización de nutrientes de los tejidos (34, 46). Por su parte Lucy (34) afirma que las vacas que producen más leche no necesariamente tienen un balance energético más negativo, debido a que estas pueden compensar la energía con un mayor consumo, mientras que hay casos en que vacas de menor producción presentan consumos más bajos, por lo que pueden tener un balance más negativo.

La producción de leche por muestreo no tuvo relación significativa con las concentraciones plasmáticas de colesterol, sin embargo en otros estudios (19), el colesterol se ha correlacionado negativa y significativamente ( $p < 0.05$ ) con la producción de leche, aunque en el presente las curvas de producción trabajo presentaron un comportamiento normal; por el contrario, en

el trabajo citado las vacas no presentaron pico de producción, lo que originó una dinámica completamente diferente.

A pesar que estadísticamente no existe relación significativa entre la producción de leche y la glicemia, se observó una tendencia a la disminución de la glicemia a medida que se aumentaba la producción de leche. En otro estudio (23) se reportó que las concentraciones de glucosa fueron significativamente ( $p < 0.05$ ) más bajas para el grupo de vacas de alta producción durante las semanas dos, tres, cinco y seis posparto. De manera similar, un estudio previo (28) menciona que existe una relación negativa entre la producción de leche y las concentraciones de glucosa plasmática medidas hasta la sexta semana posparto y que es debida a que la glucosa requerida para la formación de lactosa excede la absorción y la síntesis de la misma. Bauman y Currie (4) sugieren que la secreción máxima de la glándula mamaria requiere el 80% del total de glucosa.

En el presente trabajo, las vacas que tuvieron una mayor producción de leche durante el periodo experimental presentaron la ovulación significativamente más temprano. Otros autores reportaron hallazgos diferentes; es así como estudios previos en este mismo hato no encontraron efecto alguno de la producción de leche sobre la reactivación ovárica posparto (48). Por su parte Westwood *et al* (50), encontraron que las vacas con una producción de leche acumulada hasta los 42 días de lactancia superior a los 1623.9 litros o mayor que 38 l/día, presentaron una probabilidad 2.6 veces mayor de retrasar su primera ovulación, que las vacas con una producción acumulada menor a 1212.5 litros o menor a 29 l/día.

#### *Comparación de medias entre las vacas que ovularon y las que no ovularon*

En el presente trabajo el mérito genético para la producción de leche fue estadísticamente similar entre las vacas que ovularon y las que no ovularon durante el periodo experimental. Estos resultados concuerdan con los de otros investigadores (23), quienes utilizaron la comparación entre medias y hallaron que tanto las vacas de mérito genético

alto (alta producción) como de mérito genético promedio (producción media), no presentaron diferencias significativas en cuanto al intervalo parto a primera ovulación, e involución uterina; sin embargo, la expresión de estro fue marcadamente diferente, ya que las vacas de alto mérito genético retrasaron su primer estro en 23 días respecto de las vacas de mérito genético medio. Es probable que en el presente trabajo se haya presentado el mismo comportamiento de estro, pero es imposible asegurarlo dado que esta variable no se incluyó. Por otra parte, es necesario considerar que otras variables, como la alimentación, pueden afectar el intervalo parto primera ovulación. Fulkerson *et al* (17), reportaron que la interacción mérito genético-alimentación puede tener más efecto sobre esta variable que el mérito genético por sí solo.

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, resultados que concuerdan con los reportados por otros investigadores (6). 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 un estudio (11), 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 óvulo 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 ovuló. Previamente otros investigadores (22) reportaron resultados similares, en los cuales los animales que tuvieron una reactivación del ciclo ovárico más temprano presentaron valores significativamente

( $p < 0.05$ ) más altos de colesterol sérico desde la segunda hasta la cuarta semana posparto, respecto de los grupos de vacas que iniciaron más tarde su reactivación ovárica. En contraste, en un estudio similar (6), no encontraron ninguna diferencia significativa en el colesterol plasmático en grupos de vacas que ovularon y que no ovularon y los valores promedios 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 éstas vacas se alimentaron con una ración totalmente mezclada.

El grupo de vacas que no ovuló durante el periodo experimental presentó concentraciones plasmáticas de glucosa significativamente más altas que el grupo de vacas que ovuló durante dicho periodo. Estos resultados no coinciden con otros resultados de investigaciones previas (6) quienes no hallaron diferencias significativas en las concentraciones plasmáticas de glucosa de vacas que ovularon y que no ovularon. Una posible explicación para estos resultados, es que la glucosa plasmática haya sido utilizada mas intensamente por los tejidos ováricos de las vacas que ovularon. En apoyo a lo anterior, se considera que dentro de las necesidades de glucosa se debería incluir una proporción importante para el crecimiento de los folículos y tener en cuenta el incremento en el metabolismo de la glucosa dentro de las células ováricas en respuesta a las gonadotropinas (33). Leroy *et al* (32), sugieren la existencia de un mecanismo de transporte activo que mantiene las concentraciones de glucosa dentro del folículo más altas respecto del plasma, el cual sería un mecanismo protector del oocito contra las variaciones de la glicemia.

El grupo de vacas que ovuló presentó una producción de leche diaria significativamente más alta que el grupo de vacas que no ovuló. Lucy *et al* (36), mostraron que la producción de leche tuvo una tendencia a ser mayor ( $p > 0.05$ ) para vacas que ovularon en el periodo posparto más temprano (antes de los 22 días) comparado con las vacas que ovularon entre los días 22 y 42 posparto.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo valioso para la realización de la presente a investigación al personal administrativo y operativo de la Hacienda Paysandú,

a los profesores Guillermo Henao Restrepo y Jorge Humberto Quijano Bernal y al Agrónomo-Zootecnista Jhon Jairo Giraldo.

## Referencias

- Anzola HV. Relaciones entre la nutrición y la reproducción en ganado lechero. *Desp Lechero* 1993; 9:5-17.
- Argenzio RA. Digestión, absorción y metabolismo. En: Dukes H, Swenson MJ. Editores. *Fisiología de los animales domésticos*. New York: Cornell University Press; 1998. p. 325-335
- Asoholstein. Sesenta años Holstein Colombia A. *Holstein Col.* 2004; (URL: <http://www.holstein.com.co/caracteristicas.htm>)
- Bauman DE, Currie WB. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorresis. *J Dairy Sci* 1980; 63:1514-1529.
- Beam S W, Butler WR. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biol Reprod* 1997; 56:133-142.
- Beam SW, Butler WR. Energy balance, metabolic hormones, and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J Dairy Sci* 1998; 81:121-131.
- Blood DC, Radostits OM. *Medicina veterinaria*. México: McGraw Hill; 1992. 1398 p.
- Buckley F, Dillon P, Rath M Veerkamp RF. The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving holstein friesian dairy cows on grass based systems of milk production. *J Dairy Sci* 2000; 83:1878-1886.
- Butler WR. Nutrition and reproduction loss- can we feed our way out of it? 2003;(URL: [http://www.ansciumn.edu/petersen\\_symposium/butler.pdf](http://www.ansciumn.edu/petersen_symposium/butler.pdf))
- Butler WR, Smith RD. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1989; 72:767-783.
- Canfield RW, Butler WR. Energy balance and pulsatile luteinizing hormone secretion in early postpartum dairy cows. *Dom Anim Endocrinol* 1990; 7:323-330.
- Dehning R. Diagnóstico y mejoramiento de la fertilidad en el hato. Monografía. Series monográficas, CICADEP, ICA. 1988; 2:1-53.
- De Luca L. Fisiopatología del hígado de las vacas de alta producción. 2003 (URL: <http://www.engormix.com/nuevo/prueba/areadeganaderialeche1.asp?valor=283>)
- De Vries MJ, Veerkamp RF. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *J Dairy Sci* 2000; 83:62-69.
- Francisco CC, Chamberlain CS, Waldner DN Wettermann RP, Spicer LJ. Propionil bacteria fed to dairy cows: effects on energy balance, plasma metabolites, hormones and reproduction. *J Dairy Sci* 2002; 85:1738-1751.
- Francisco CC, Spicer LJ, Payton ME. Predicting cholesterol, progesterone, and days to ovulation using postpartum metabolic and endocrine measures. *J Dairy Sci* 2003; 86:2852-2863.
- Fulkerson WL, Wilkins J, Dobos RC, Hough GM, Goddard ME, *et al.* Reproductive performance in holstein-friesian cow in relation to genetic merit and level of feeding when grazing pasture. *Anim Sci* 2001; 73:397-406.
- Gallego MI. Manejo del problema reproductivo en Ganado de leche ANALAC, ICA 1988. 95p.
- Galvis RD, Correa HJ, Ramírez NF, Soler W. Influencia de las alteraciones sobre la actividad PEPCK, IGF-1 plasmático y la reactivación ovárica en la lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* 2003; 16:228-236.
- García F. Nutrición y fertilidad de la vaca lechera. Monografía Facultad de Veterinaria, Universidad de Buenos Aires 2003 (URL: [www.nutrihelpanimal.ar](http://www.nutrihelpanimal.ar)).
- Gaviria BG, Gutiérrez, HN, Molina SE, Ruíz MI, Tamayo C. Estudios de la infertilidad bovina en las zonas lecheras de Antioquia. Municipio de Santa Rosa de Osos. Universidad de Antioquia, Secretaria de Agricultura, ICA, Colanta. 1999.
- 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.
- Harrison RO, Ford SP, Young JW, Conley AJ, Freeman AE. Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cow. *J Dairy Sci* 1990; 73:2749-2758.
- Heinrich J, Lammers B. Monitoring dairy heifer growth. Pennsylvania State University 2001 (URL: <http://www.daspsu.edu/dcn/calfmgt/growth/docs/measure.html>)
- Ingvarstsen KL, Andersen JB. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *J Dairy Sci* 2000; 83:1573-1597.

26. Jainudeen MR, Hafez ES. Ganado bovino y búfalo de agua. En: ESE Hafez, editor. Reproducción e inseminación artificial en animales, 2ª ed. México: Interamericana-McGraw-Hill; 1989. p 321-340.
27. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. Clinical biochemistry of domestic animal, 5ª ed. San Diego: Academic Press; 1997. 780p.
28. Kappel LC, Ingraham RH, Morgan EB, Zeringue L, Wilson D, *et al.* Relationship between fertility and blood glucose and cholesterol concentrations in holstein cow. *Am J Vet Res* 1984; 45: 2607-2612.
29. Keown, JF. How to score body condition in dairy animals. University of Nebraska Cooperative Extension educational programs. 1996 (URL:www.unebraska.com)
30. Komaragiri MV, Erdman RA. Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. Effect of dietary protein on mobilization on body fat and protein. *J Dairy Sci* 1997; 80:929-937.
31. 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.
32. Leroy JL, Vanholder T, Delanghe JR, Opsomer G, Van Soom A, *et al.* Metabolic changes in follicular fluid on the dominant follicle in high-yielding dairy cows early post partum. *Theriogenology* 2004; 62:1131-1143.
33. Lucy MC. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *J Dairy Sci* 2000; 83:1635-1647.
34. Lucy MC. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J Dairy Sci* 2001; 84:1277-1293.
35. 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.
36. Lucy MC, Staples CR, Thatcher WW, Erickson PS, Cleale RM, *et al.* Influence of diet composition, dry matter intake, milk production and energy balance on time postpartum ovulation and fertility in dairy cows. *Anim Prod* 1992; 54: 323-331.
37. Lucy MC, Savio JD, Badinga L, De La Sota R L, Thatchers WW. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J Anim Sci* 1992; 70: 3615-3626.
38. Mertens DR. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages. *Animal and dairy science*. Athens: dept, University of Georgia, Proc Cornell Nutr Conf; 1983. 305p.
39. National Research Council. The nutrient requirements of dairy cattle. Washington DC; National Academy of Sciences; 1989. 175 p.
40. Nebel RL, McGilliard ML. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 1993; 76:3257-3268.
41. Pierson RA, Kastelic JP, Ginther OJ. Basic principles and techniques for transrectal ultrasonography in cattle and horses. *Theriogenology* 1988; 29:3-18.
42. Rabiee AR, Lean IJ, Gooden JN, Miller BG. Relationships among metabolites influencing ovarian function in dairy cow. *J Dairy Sci* 1999; 82: 39-44.
43. Rastani RR, Andrew SM, Zinn SA, Sniffen CJ. Body composition and estimated tissue energy balance in jersey and holstein cows during early lactation. *J Dairy Sci* 2001; 84:1201-1209.
44. Schroeder W. Tratado de obstetricia veterinaria comparada. 7ª ed. Bogotá: 1993. 453p.
45. Statgraphics. Statgraphics Plus for Windows 4.0 Statistical Graphics Corporation, 1999.
46. Sutter F, Beever DE. Energy and nitrogen metabolism in holstein-friesian cows during early lactation. *Anim Sci* 2000; 70:503-514.
47. Veerkamp RF, Oldenbroek JK, Van Der Gaast HJ, Van Der Werf JH. Genetic correlation between days until start of luteal activity and milk yield, energy balance, and live weights. *J Dairy Sci* 2000; 83:577-583.
48. Vélez ML, Restrepo PA. Relaciones entre nivel de producción de leche y la actividad reproductiva posparto en vacas Holstein. Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.1986.
49. Wattiaux MA. Grados de condición corporal. Esenciales lecheras Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera. Universidad de Wisconsin-Madison 2003 (URL:http://babcock.cals.wisc.edu/)
50. Westwood CT, Lean IJ, Garvin JK. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows a multivariate description. *J Dairy Sci* 2002; 85:3225-3237.