



## Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción

**Revista**  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarias

Rubén D Galvis<sup>1</sup>, Zoot, MSc; Edwin A Múnera<sup>2</sup>, Zoot; Andres M Marín<sup>2</sup>, Zoot.

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

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

rdgalvis@unalmed.edu.co

(Recibido: 28 febrero, 2005; aceptado: 23 agosto, 2005)

### Resumen

*A la vez que ha aumentado la ganancia genética para la producción de leche, el desempeño reproductivo de las vacas ha desmejorado simultáneamente; sin embargo, las razones fisiológicas de este antagonismo no están bien determinadas. Algunos investigadores creen que la caída de la fertilidad es sólo una cuestión de deficiencia nutricional debido a la mayor demanda que implica el mayor nivel productivo. El aumento en la producción de leche incrementa los requerimientos nutricionales de la vaca; durante el posparto temprano se presenta de forma natural un balance energético negativo (BEN) que está en función de la producción de leche, y que según varios autores está correlacionado negativamente con los días a la primera ovulación posparto. Muchos de los problemas de sanidad en las vacas de mayor selección genética, tanto de naturaleza metabólica como infecciosa, ocurren en la lactación temprana y están relacionadas con el bajo consumo previo al parto. El mérito genético para la producción de leche puede afectar significativamente el patrón de cambio de las concentraciones plasmáticas de metabolitos y hormonas, las cuales pueden tener efecto sobre la actividad ovárica posparto. Aunque diversos autores reconocen que la fertilidad más baja se correlaciona con la alta producción de leche, estos mismos afirman que la producción de leche no es el principal factor que limita la reactivación ovárica y que el desempeño reproductivo parece estar más influenciado por el balance de energía. Es objetivo de este trabajo realizar una revisión crítica acerca de los efectos del avance genético para la producción de leche sobre el desempeño metabólico y reproductivo de la vaca de alta producción.*

**Palabras clave:** balance energético, mejoramiento genético, perfiles metabólicos, reactivación ovárica.

### Introducción

Según el programa de información de hatos lecheros (DHI) del departamento de agricultura de los Estados Unidos, en los últimos 10 años la raza Holstein incrementó su promedio de producción de leche en 51.3 kilogramos por año. Simultáneamente se ha registrado un deterioro en el desempeño reproductivo

(19). Existen evidencias que sugieren que el mejoramiento genético para la producción de leche está asociado con la disminución en la fertilidad.

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.

El aumento en la producción de leche incrementa los requerimientos nutricionales de la vaca. Durante el posparto temprano se presenta de forma natural un balance energético negativo (BEN) que está en función de la producción de leche, y que según varios autores está correlacionado negativamente con los días a la primera ovulación posparto. Bajo condiciones nutricionales deficientes y alta producción de leche, el BEN toma magnitudes desmesuradas, conduciendo a una exagerada movilización de reservas y produciendo cambios en la concentración de metabolitos y hormonas del metabolismo intermediario, las cuales interactúan con el eje hipotálamo-hipófisis-ovarios y causan un retraso en la reactivación fisiológica de la reproducción.

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. Es objetivo de este trabajo realizar una revisión crítica acerca de los efectos del avance genético para la producción de leche sobre el desempeño metabólico y reproductivo de la vaca de alta producción.

### **Mérito genético para la producción de leche**

Técnicamente el mérito genético es la suma de los efectos promedio de todos los genes que posee un individuo (13). Esta definición se basa en que los progenitores pasan a sus hijos los genes y no los fenotipos. El mérito genético es sinónimo de valor de cría y de valor reproductivo.

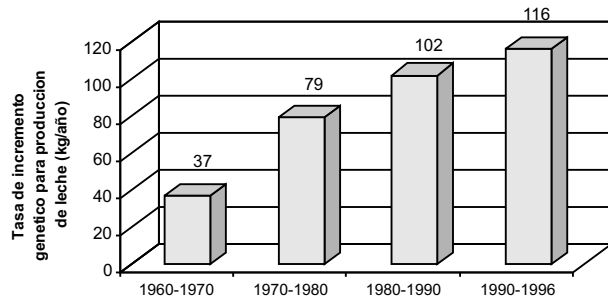
El mérito genético es un valor matemático y puede expresarse en unidades absolutas en vez de desviaciones, interpretándose su valor fenotípico (13). Los métodos para calcular el mérito genético varían dependiendo de los registros que dan la información (pedigrí, pruebas de progenie, por semejantes) (11).

El mérito genético de un individuo depende de la población en que se tome, ya que ésta es la población de la cual se establece la base genética. Un individuo con alto mérito genético para una característica deseada podría mejorarla en una población con valor genético promedio, pero si se aparee en otra población con una media de valor genético superior no podrá mejorar la característica (13).

La base genética es el punto de referencia utilizado para expresar el mérito genético de un animal para un rasgo (54). Todos los valores del mérito genético son expresados como una desviación de la base genética. La base se define estableciendo el mérito genético promedio en cero para un grupo de animales. Dado el avance genético, las bases genéticas deben ser actualizadas periódicamente.

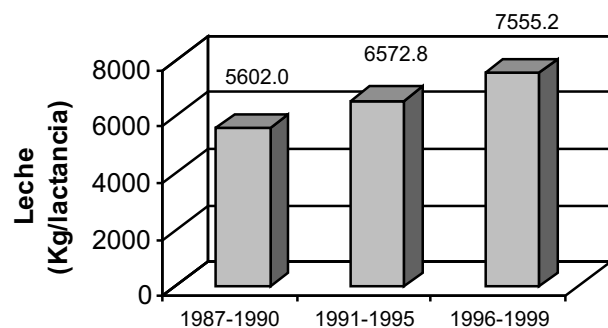
### **Avance genético para la producción de leche**

A partir de 1950 en los Estados Unidos se introdujo el modelo animal, el cual fue un gran avance para la evaluación de toros y vacas, ya que calcula la habilidad predicha de transmisión HPT o PTA como estimador del mérito genético (21). Las respuestas a la selección se presentarían en los años sesentas y setentas. Desde estos años se han hecho algunas estimaciones de la ganancia genética; la figura 1 ilustra el avance genético para la producción de leche en la raza Holstein en los Estados Unidos (28). La investigación hecha por Freeman y Lindberg (20) cuantificó que el aumento en el promedio de producción en la raza Holstein entre 1960-1988 fue de 104 kg de leche por año y la ganancia genética fue de 84 kg de leche por año. Para el periodo entre 1980-1998 se estimó una ganancia genética de 135 kg de leche año. De la misma forma, el trabajo publicado por Tomaszewsky en 1993 (51), analizó los registros del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y encontró que el promedio de producción de leche para la raza Holstein fue superior a 9000 kg por lactancia y para esa fecha la meta para esta población era superar los 13000 kg por lactancia. Lo anterior se afirma en otro estudio (21), donde se reportó que entre 1960 y 1990 la ganancia genética fue de 150 kg por año y la producción por lactancia aumentó en 3000 kg.



**Figura 1.** Tasas de incremento genético para producción de leche de la raza Holstein en EEUU. Hansen (27).

De la misma forma, el hato bovino de nuestro país también ha avanzado en su mejoramiento genético. Datos del hato Paysandú de la Universidad Nacional sede Medellín, muestran un aumento considerable en la producción de leche, es así como en 1956 la producción media de leche por lactancia era de 3177 kg; para el año 2002 la producción de leche ajustada al “equivalente maduro” (ME) y 305 días de lactancia fue de  $7399 \pm 1211$  kg (42). En ese mismo año, una investigación para el mismo hato (42) reportó un aumento significativo en la producción de leche, el cual se observa en la figura 2.



**Figura 2.** Producción de leche acumulada y corregida a 305 días durante la primera lactancia para un hato Holstein en el altiplano del oriente antioqueño, Rueda y Santa (46).

### Relaciones entre el avance genético para la producción de leche y el desempeño reproductivo

A la vez que ha aumentado la ganancia genética para producción de leche, el desempeño reproductivo de las vacas ha desmejorado simultáneamente. Sin embargo, las razones fisiológicas de este antagonismo no están bien determinadas (23, 28).

Existen varios parámetros para evaluar la reproducción de un hato bovino (días abiertos y

servicios por concepción), pero no todos sirven para establecer relaciones entre la fertilidad y la producción, ya que las decisiones de manejo pueden producir interacciones con los efectos biológicos (8, 37).

En varios trabajos se han reportado correlaciones genéticas positivas entre el nivel de producción de leche y el intervalo entre partos (IEP), dichas correlaciones encontradas por Olori *et al* (39), Pryce *et al* (40) y Zambianchi *et al* (57), oscilan entre 0.22 y 0.59. De esta forma, las producciones más altas se asocian con IEP más largos. Sin embargo, otros estudios han reportado correlaciones genéticas negativas entre producción de leche y el IEP, pero estos mismos estudios encontraron correlaciones fenotípicas positivas entre estas mismas variables, lo que sugiere que la relación antagónica entre producción y eficiencia reproductiva puede estar más afectada por factores medioambientales que por factores genéticos (38).

En nuestro medio se han informado resultados similares. Por ejemplo en el trabajo de Restrepo (45), se reportaron correlaciones fenotípicas positivas entre la producción de leche y el intervalo entre partos, los días abiertos y el número de servicios por concepción. Sin embargo, las correlaciones genéticas entre producción de leche y, los días abiertos, el IEP y los servicios por concepción, reportados previamente por Londoño y Parra (33) para el mismo hato, fueron de muy baja magnitud (véase Tabla 1). Por otro lado, una revisión amplia de Nebel y McGilliard en 1993 (37), reportó correlaciones fenotípicas y genéticas significativas entre la producción de leche y la alteración de los parámetros reproductivos, y además encontraron que la alteración de parámetros reproductivos se presenta principalmente como un retardo en la reactivación ovárica y una disminución de las tasas de concepción (véase Tabla 2). Además, en la misma revisión (36) se reitera que a medida que los hatos alcanzan mayores niveles de producción, la relación producción-reproducción se hace más evidente.

**Tabla 1.** Correlaciones fenotípicas y genotípicas entre producción de leche y servicios por concepción (S/C), días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP) Adaptado de Londoño y Parra (33), y Restrepo (45).

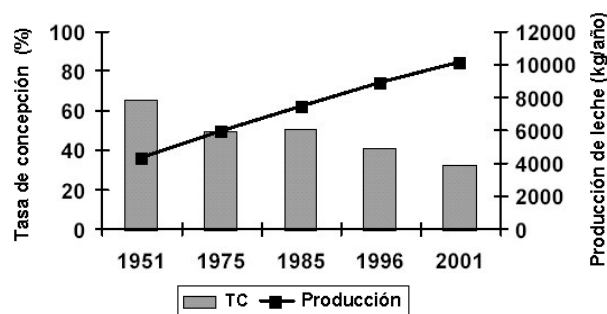
Características	Correlación Fenotípica	Correlación Genética
Producción-IEP	0.45 p<0.01	0.182 ± 0.3
Producción-DA	0.45 p<0.01	0.212 ± 0.305
Producción-S/C	0.36 p<0.01	-0.105 ± 0.311

**Tabla 2.** Comportamiento reproductivo por grupos de producción de acuerdo leche corregida por grasa (LCG) de vacas Holstein primíparas que parieron entre 1967 y 1986 en seis hatos experimentales de Carolina (EEUU).

Producción kg de LCG	Vacas (N°)	Intervalo al primer servicio (Días)		Tasa concepción Primer servicio (%)		Servicios (N°)	
		X	SE	X	SE	X	SE
<7250	1174	73	0,7	57	1,6	1,82	0,04
7250 a 9750	1978	79	0,5	38	1,3	2,36	0,04
>9750	241	80	1,5	17	3,5	3,11	0,1

Faust *et al* (1988), citado por Nebel y McGuilliard (37).

En los Estados Unidos, a pesar del desarrollo de programas veterinarios para mejorar la sanidad reproductiva de los hatos, la tasa de concepción ha declinado de 55-66% en 1978 hasta 45-50% en 1998 (49). En las últimas décadas el gran incremento en la producción de leche se ha relacionado con la disminución en la tasa de concepción (8, 10) (véase Figura 3).



**Figura 3.** Relación inversa entre tasa de concepción y producción anual de leche en vacas Holstein en New York. Butler (10).

Algunos investigadores creen que la caída de la fertilidad es sólo una cuestión de deficiencia nutricional debido a la mayor demanda que implica el mayor nivel productivo; éstos se apoyan en investigaciones que indican que el índice de concepción en novillas no ha tenido cambios en los últimos 25 años (8), mientras que sí se observa una marcada diferencia de fertilidad entre las vacas adultas de diferentes niveles de producción, ya que éstas son afectadas por el parto y la lactancia anterior (37). Por lo tanto, se sugiere que la selección genética para la producción de leche no es la causa de una baja fertilidad (8). Por su parte, en una revisión de García (23) se encontraron datos que sugieren que, la caída en la fertilidad no es sólo una cuestión nutricional sino que también involucra factores fisiológicos y de manejo.

### El balance energético y metabólico en la vaca de alta producción

El balance energético es la diferencia entre la energía neta consumida por el animal y la requerida por éste para mantenimiento y producción. De este modo, diferentes factores afectan el balance de energía, entre los que se cuentan los referentes al consumo de materia seca y su valor energético, y los atribuidos a las necesidades del animal, principalmente para la producción de leche.

Durante las diferentes etapas de la lactancia, la vaca presenta una variación en las magnitudes en el balance energético. Cerca de unas dos semanas antes del parto, la vaca reduce significativamente el consumo de materia seca, aproximadamente en un 30% (14). Esta reducción sumada a las necesidades fetales y a la síntesis de calostro, disminuyen el balance de energía en el animal. Bajo nuestras condiciones de producción, se ha reportado que la magnitud del balance de energía neta de lactancia para este periodo puede oscilar entre -5 y + 19 % de los requerimientos (22).

Durante el posparto temprano se presenta un balance energético negativo (BEN) que se produce en forma corriente cuando inicia la lactancia, ya que en este periodo se utiliza mucha más energía que en el estado gestacional tardío. En la revisión de Butler y Smith (8), se hizo referencia a que el requerimiento de energía para la producción de leche puede triplicar los requerimientos energéticos de mantenimiento durante la lactancia temprana. Además el BEN es más marcado en vacas de alta producción, ya que estos animales reducen el consumo de materia seca por disminución del apetito al comienzo de la producción (17). El BEN normalmente alcanza su máximo durante la primera a segunda semana de lactancia (8). En nuestro medio, para el periodo comprendido entre el día 12 y 35 posparto se han hallado BEN de una

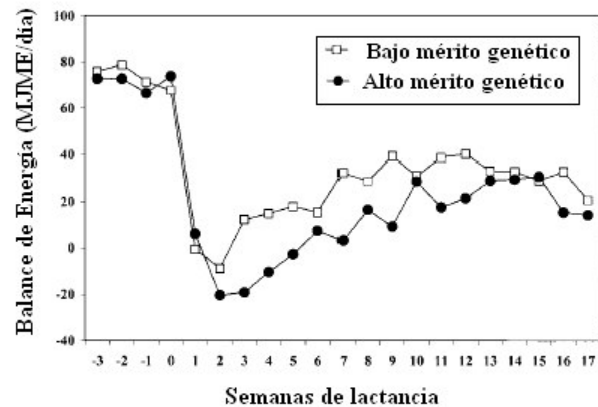
magnitud entre -20 y -7 % de los requerimientos (22). Los requerimientos de energía de la vaca se incrementan con el aumento de la producción y alcanzan el máximo aproximadamente seis semanas luego del parto; de otro lado, el consumo máximo de energía podría no alcanzarse hasta la semana 16 posparto (29), por consiguiente la vaca puede alcanzar un balance energético positivo alrededor de los 100 días posparto.

El consumo voluntario más bajo ocurre en el momento del parto. El pico de producción de leche se presenta generalmente entre la quinta a séptima semanas posparto, mientras que el máximo consumo es alcanzado entre la semana 8 y 22 después del parto. La disminución en el consumo coincide con los cambios en el estado reproductivo, la grasa acumulada en el cuerpo, y cambios metabólicos para el soporte de la lactación, donde se han descrito señales metabólicas que pueden tener una acción importante dentro de la regulación del consumo voluntario. Entre éstas se incluyen nutrientes, metabolitos, hormonas reproductivas, hormonas ligadas con el estrés, leptina e insulina (30).

Muchos de los problemas de sanidad en las vacas de mayor selección genética, tanto de naturaleza metabólica como infecciosa ocurren en la lactación temprana y están relacionadas con el bajo consumo previo al parto (30).

Es evidente la importancia del consumo de materia seca para lograr balances energéticos más favorables en la lactancia temprana. En una investigación de Veerkamp *et al* (52), se sugiere que la selección genética para la producción de leche ha resultado en animales con mayores producciones y además con mayor consumo de materia seca; así estas vacas pueden recuperarse más rápido del balance energético negativo. De acuerdo con lo anterior, un reporte (25) sugiere que es probable que las vacas que se seleccionan para una alta producción de leche también son seleccionadas (selección indirecta) por su habilidad para movilizar reservas corporales y para ingerir más alimento. Contrariamente, otros estudios señalan que el mérito genético para el incremento de la producción lechera ha sido correlacionado con una menor condición corporal posparto, con el incremento en la pérdida de peso y de condición corporal (36, 56) y con un balance energético negativo de mayor magnitud en el posparto temprano (7, 55) (véase Figura 4). Por su parte, otros autores afirman que las vacas de mérito

genético alto tienen un nadir del BEN más pronunciado y demoran más en alcanzar un balance energético positivo (55).



**Figura 4.** Efecto del mérito genético para producción de leche sobre el balance de energía. Westwood *et al* (55).

El ganado lechero en el posparto temprano tiene un balance de energía negativo que está altamente correlacionado ( $r = -0.8$ ) con la producción de leche (8). En un trabajo reciente bajo nuestras condiciones de producción (22), se determinó que la ecuación de regresión que relaciona la producción de leche y el balance de energía, es lineal, altamente significativa y con pendiente negativa, debido al incremento en las necesidades nutritivas que trae consigo la producción de leche.

La naturaleza ha dado mayor prioridad a las funciones de preñez y lactancia permitiendo que éstas ocurran a expensas de otros procesos metabólicos, de esta forma se genera una respuesta compensatoria conocida como homeorresis que involucra en el tejido adiposo un aumento de la lipólisis, en el hígado un incremento de la gluconeogénesis y de la glicogenólisis, en el tejido muscular y óseo la movilización de reservas proteicas y minerales. Estos mecanismos alteran el metabolismo del animal favoreciendo el flujo de nutrientes hacia la glándula mamaria (3). Este efecto se traduce normalmente en una pérdida de peso y de condición corporal.

La cantidad de leche producida por la vaca es afectada por el nivel de reservas corporales, también es influenciada por la forma como se distribuye la energía del alimento para producción de leche o ganancia de peso. La proporción directa que se destina a estas formas de producción depende de factores tales como el mérito genético de la vaca, su nivel de reservas

corporales y su nivel normal de producción de leche. Los primeros experimentos antes de 1960 indicaron que los animales más pesados al parto producen consecuentemente más leche y pierden más peso vivo que animales más livianos. Esto se ha interpretado como una respuesta a un déficit energético en lactancia temprana; por lo tanto, la producción de leche se sustenta en la movilización de las reservas corporales (29). En un trabajo más reciente (50), se estimó que en las primeras ocho semanas de lactancia la movilización de reservas corporales aportó los nutrientes necesarios para producir el 19% de la producción total de leche.

La homeorresis conduce a cambios en un número importante de hormonas como insulina, glucagón, somatotropina, las cuales activan el sistema lipolítico a nivel del tejido adiposo periférico e inducen cambios en la gluconeogénesis y en la cetogénesis, así como en la concentración de metabolitos (17), los cuales se pueden emplear como indicadores del balance de energía y además correlacionarse con los contenidos energéticos de las dietas (4). En nuestro medio se han reportado alteraciones en los perfiles metabólicos que pueden ser interpretados como consecuencias de las adaptaciones homeorréticas para la producción de leche (24).

El mérito genético para la producción de leche no afecta significativamente las concentraciones séricas de glucosa. Sin embargo, el patrón de cambio de la concentración de glucosa fue significativamente diferente entre los grupos de alto y bajo mérito genético (55). En este mismo trabajo, en las vacas de alto mérito genético, el nadir de la concentración plasmática de glucosa se alcanzó más tarde y las concentraciones plasmáticas persistieron bajas por más tiempo.

En las primeras seis semanas de lactancia existe una relación negativa entre la producción de leche y las concentraciones de glucosa plasmática (31); debido a que la glucosa requerida para la formación de lactosa excede la absorción y la síntesis de la misma. Algunos autores (3) sugieren que la secreción máxima de la glándula mamaria puede utilizar cerca del 80% del total de la glucosa requerida por el animal. En nuestro medio (16) se ha reportado que en aquellos animales que tienen una producción superior a 30 kg/leche/día, el riesgo de presentar una deficiencia de energía persiste más tiempo como consecuencia de una limitada capacidad de consumo, de una limitada concentración de nutrientes en el alimento y de la reducida

disponibilidad de tiempo para consumir grandes cantidades de concentrado, principalmente cuando se suplen las vacas sólo durante el ordeño.

Los animales que cursan con un déficit energético presentan una elevación en la concentración de lípidos en sangre y en leche. Este es uno de los síntomas más destacados del déficit de energía que padecen las vacas lecheras en los comienzos de la lactancia, e indica la movilización lipídica compensatoria que se produce (2). El colesterol ha sido correlacionado significativamente con la producción de leche. En otra revisión hecha por Kappel *et al* (31) se sugiere que el incremento del colesterol durante la lactancia se ha asociado con el incremento en la síntesis de lipoproteínas que son necesarias para el transporte de lípidos. Mientras otra investigación hecha por Gálvis *et al* (22) reporta que al inicio de la lactancia, cuando la producción de leche fue alta, los valores de colesterol en sangre fueron los más bajos y éstos aumentaron significativamente con el avance de la lactancia.

El mérito genético para la producción de leche puede afectar el patrón de cambio de las concentraciones plasmáticas de colesterol. Un trabajo reciente demostró que las concentraciones plasmáticas de colesterol entre la semana 5 y 10 de lactancia fueron significativamente mayores en las vacas de alto mérito genético respecto a las de bajo mérito genético (55).

#### **Efectos del balance nutricional y metabólico sobre la reactivación ovárica en la vaca de alta producción**

Existen varios factores que afectan la reactivación ovárica posparto en las vacas lecheras tales como: producción de leche, consumo de materia seca, balance de energía, y el equilibrio metabólico y hormonal entre otros.

Algunos autores han relacionado el consumo de energía con el desarrollo folicular y con la duración del intervalo entre el parto y la primera ovulación. Un estudio hecho por Lucy *et al* (35), encontró que el intervalo a la primera ovulación fue más corto en vacas que consumieron mayor cantidad de materia seca durante el periodo posparto. Estos autores sugieren que el mayor consumo de nutrientes en las primeras semanas posparto es el factor clave que determina la ovulación temprana. Otro estudio, hecho por Westwood (55), reporta correlaciones genéticas

negativas entre el consumo de materia seca, el balance de energía, el peso vivo durante la lactación y la ganancia de peso con el intervalo entre el parto y la primera actividad luteal; es decir que las vacas con mayor consumo de materia seca pueden tener un menor intervalo desde el parto hasta la primera actividad luteal.

En la investigación realizada por Lucy *et al* (35) se sugiere que las vacas de mayor producción no necesariamente son las vacas con anestro prolongado. El mérito genético de las vacas no fue un predictor significativo para el intervalo entre el parto y la primera ovulación o entre el parto y el primer estro (56). Además, en la investigación de Harrison *et al* (28) se reporta que tanto las vacas de mérito genético alto como de mérito genético promedio reiniciaron su actividad ovárica al mismo tiempo, así como su involución uterina; pero la expresión de estro fue marcadamente diferente, ya que las vacas de alto mérito genético retrasaron su primer estro en 23 días respecto a las vacas de mérito genético medio.

Los días entre el parto y la primera ovulación han sido relacionados positivamente con la producción de leche. Es así como Westwood *et al* (56) encontraron que las vacas con mayor producción de leche durante la lactancia temprana, presentaron un intervalo más largo entre el parto y la primera ovulación y una menor probabilidad de expresión de estro. De manera similar, otra investigación realizada por Veerkamp *et al* (52), determinó correlaciones genéticas altas y desfavorables entre el intervalo entre el parto y la primera actividad luteal y la producción de leche, de grasa y de proteína.

Para nuestro medio se hizo un reporte de correlaciones y regresiones entre la producción de leche y la reactivación ovárica posparto en un hato Holstein en la región del altiplano oriente de Antioquia (53). En este estudio no se presentaron diferencias estadísticamente significativas que sugirieran relaciones antagónicas entre los niveles de producción y el inicio de la actividad reproductiva posparto.

Por otra parte, una revisión (8) reporta que la producción de leche no es el principal factor que limita la reactivación ovárica posparto, y aunque la fertilidad más baja se correlaciona con la alta producción de leche, el desempeño reproductivo parece estar más influenciado por el balance de energía de la vaca en transición.

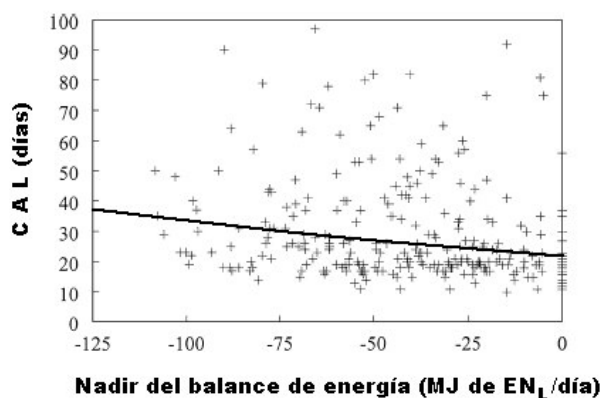
El balance energético negativo resultante después del parto se extiende durante 10 a 12 semanas, y es fuertemente asociado con la longitud del periodo anovulatorio (8, 35). La dieta y el balance de energía pueden modificar la población folicular y afectar el número promedio de folículos por vaca en los primeros 25 días posparto; estos resultados identifican la importancia de estas variables en la función ovárica y folicular después del parto (34). Además, otra investigación (12) sugiere que el balance de energía puede alterar la reactivación ovárica posparto mediante la modulación de la secreción pulsátil de LH, o alterando la sensibilidad del ovario a las gonadotropinas.

El BEN provoca cambios en las concentraciones de metabolitos y hormonas como la glucosa, la insulina, la hormona del crecimiento (GH) y el factor insulinoide de crecimiento tipo uno (IGF-I), que están involucradas en el metabolismo energético intermediario e informan del estado nutricional al hipotálamo afectando la secreción de GnRH y de LH (34) retrasando de esta manera el tiempo a la primera ovulación.

Si se presenta un balance de energía positivo más temprano este es beneficioso e importante para la función y competencia del folículo dominante, favoreciendo la culminación del desarrollo folicular y la ovulación. Las concentraciones de LH permanecen bajas hasta que se alcanza el nadir del BEN; posteriormente, cuando el balance de energía empieza a entrar en una dirección positiva, la LH empieza a aumentar (12).

En un experimento procedido por Beam y Butler (4) se utilizó la ultrasonografía para seguir el desarrollo folicular en vacas Holstein multíparas, y se determinó una correlación positiva (0.55) entre los días entre el parto y la primera ovulación y los días para alcanzar el nadir del BEN. Los folículos dominantes que surgieron después del nadir del balance de energía produjeron más estradiol y una mayor proporción fueron ovulatorios. Entre tanto, De Vries y Veerkamp (18) llevaron a cabo un estudio del balance de energía durante 180 días en vacas de primera lactancia. El estudio demostró que la magnitud del nadir del BEN se relacionó con el retraso de la reactivación ovárica. En este trabajo, por cada disminución en el nadir del BEN de 10 MJ de NEL/d se presentó un aumento de 1.25 días en el intervalo a la primera ovulación, esta relación se ilustra en la figura 5. En un trabajo reciente (22), se encontró una relación lineal y altamente

significativa entre el balance de energía y la reactivación ovárica posparto; en este trabajo sólo las vacas que tenían un BEN mayor a -10% de los requerimientos, presentaron reactivación ovárica en los primeros 40 días posparto.



**Figura 5.** Relación entre el intervalo posparto al comienzo de la actividad luteal (CAL) y el nadir del balance de energía. La línea ajustada representa una curva logarítmica a través de los puntos. De Vries y Veerkamp (18).

La sensibilidad alterada del folículo a las gonadotropinas, a través de cambios en los niveles de insulina e IGF-I, podría afectar negativamente la función de los folículos dominantes en el posparto temprano (8, 6). El desarrollo de folículos ovulatorios durante la primera onda folicular se relacionó con las concentraciones de insulina e IGF-I. Las concentraciones plasmáticas de insulina e IGF-I fueron más altas en vacas que tenían folículos ovulatorios comparadas con las vacas que no mostraron ovulación del primer folículo dominante (4, 5).

Los niveles bajos de glicemia, insulina e IGF-I limitan la producción de estrógenos por los folículos dominantes (9); de esta manera, no se libera la cantidad suficiente de estradiol para lograr los picos preovulatorios de GnRH y LH. Estos fenómenos son más pronunciados en vacas con altas producciones de leche y con altas demandas metabólicas.

El IGF-I sirve como mediador hormonal entre el balance energético y la función ovárica. Este es un estimulante de la síntesis de esteroides por las células de la granulosa y del cuerpo lúteo. La concentración plasmática de IGF-I está influenciada por una variación de la ingesta de energía y proteína; además, se ha encontrado que esta disminuye en vacas lactantes, principalmente de alta producción (48).

Cuando mejora el balance energético, aumentan las concentraciones plasmáticas de IGF-I y se incrementan los valores de progesterona durante el primer y segundo celo posparto. Una investigación (48) reportó que las vacas con un balance energético positivo (3.43 Mcal/d; n = 5) durante las primeras 12 semanas posparto, tenían mayores concentraciones de IGF-I en suero y una mayor secreción de progesterona durante la fase luteal que las vacas con balance energético negativo (-1.69 Mcal/d; n = 6). Los coeficientes de correlación entre los promedios semanales revelaron una relación positiva entre balance de energía, IGF-I y progesterona en suero, pero el intervalo a la primera ovulación o primer estro no fue diferente significativamente entre las vacas con balance energético positivo o negativo. Estos autores concluyeron que una actividad luteal reducida era acompañada de un BEN y de una disminución en las concentraciones séricas de IGF-I. Mediante otro trabajo (35) se concluyó que una reducción aguda en el estado de energía está asociada con una disminución en las concentraciones séricas de IGF-I y en la tasa de crecimiento folicular.

La mayor producción de leche origina BEN más pronunciados, éste a su vez reduce la concentración sanguínea de IGF-I y afecta la actividad ovárica (48). Un estudio reciente demostró que las concentraciones plasmáticas de IGF-I son más altas en vacas con un primer folículo dominante ovulatorio respecto a las vacas que no ovularon su primer folículo dominante (9).

El balance energético puede regular la función ovárica indirectamente a través de la relación glicemia: insulina plasmática. La concentración plasmática de insulina está negativamente correlacionada con el balance energético y se sabe que la insulina es capaz de regular la actividad folicular (34). La insulina tiene propiedades sinérgicas a las gonadotropinas de la pituitaria, tales como efectos directos en las enzimas esteroideogénicas, la modulación del número de receptores de gonadotropinas y el aumento no específico de la viabilidad celular. La insulina aumenta el efecto de la hormona folículo estimulante sobre la proliferación de las células de la granulosa y aumenta la producción de progesterona en los folículos. Así la disminución de las concentraciones de insulina durante un BEN prolongado puede deteriorar la función ovárica e inhibir la concepción (37).

En el trabajo de Galvis en el 2003 (22), los valores de insulina disminuyeron conforme aumentó la producción de leche. Lo anterior tiene su explicación



en el direccionamiento de nutrientes hacia tejidos extramamarios mediado por la insulina (3), lo que se debe ver reflejado como una relación negativa entre insulina y producción lechera.

En una revisión hecha por McClure (36), se menciona que la hipoglicemia puede afectar de varias maneras la reproducción del ganado lechero: inhibiendo la síntesis y/o liberación hipotalámica de GnRH; inhibiendo la síntesis y/o liberación hipofisaria de FSH o LH; inhibiendo el desarrollo del folículo, del óvulo, y la síntesis de estradiol, progesterona e inhibina; muerte del cigoto, el embrión o el feto. Cuando hay un descenso en la glucosa, también disminuye la amplitud de los pulsos de LH, presuntamente por un deterioro del sistema nervioso central (47).

En un trabajo de Rabiee *et al* (43) se determinaron correlaciones significativas entre la glucosa y el oxígeno consumido por el ovario, lo que indica una oxidación inmediata de glucosa, por lo que se sugiere que la glucosa es el mayor recurso de energía para el ovario bovino. Mientras en una revisión realizada por Dehning (15), se reportó que los valores bajos de glucosa se encuentran en animales con involución uterina retardada, quistes ováricos, calores prolongados y ovulaciones retardadas. Las fincas donde se presentan trastornos reproductivos en las primeras semanas posparto, muestran en su perfil concentraciones más bajas de glucosa que las fincas con buena fertilidad.

Las bajas concentraciones de glucosa en sangre en el posparto temprano han sido relacionadas con la infertilidad de las vacas lecheras (31). En una investigación (28), las concentraciones de glucosa fueron más bajas para el grupo de vacas de alta producción durante las semanas dos, tres, cinco y seis posparto. Sin embargo, entre individuos no hubo asociación entre las concentraciones de glucosa durante las primeras tres semanas y los días a la primera ovulación posparto.

El papel de los lípidos en la eficiencia reproductiva del ganado, se relaciona no sólo con su utilización como sustrato energético, sino también con la disminución del efecto detrimental del BEN. Los metabolitos sanguíneos también afectan directamente la función ovárica. El metabolito lipídico más directamente relacionado con la función ovárica es el colesterol (1). Sin embargo, en otra investigación (43) se determinó que a diferencia de la glucosa, el colesterol suministrado al ovario no parece ser un factor inmediatamente

limitante para la esteroidogénesis. Estos estudios indican que las concentraciones de colesterol pueden tener una regulación importante a largo plazo de la esteroidogénesis o reflejarse en un mejor balance de energía.

La mayoría del colesterol usado para la producción de progesterona se deriva de las lipoproteínas de suero, y ya que las lipoproteínas de alta densidad (HDL) son la fuente predominante de lipoproteínas en la vaca, es probable que HDL sea la mayor fuente de sustrato para la esteroidogénesis luteal (26). Poco o ningún efecto en la síntesis de progesterona podría esperarse que ocurra en respuesta a la disminución aguda en colesterol de suero, porque las células luteales pueden usar el colesterol guardado para la conversión inmediata al esteroide. Sin embargo, el agotamiento prolongado del colesterol circulante probablemente tendría un impacto negativo en la producción de progesterona (40).

Todavía no es posible afirmar que el colesterol sea un componente importante en los problemas reproductivos de la vaca de alta producción lechera, dado que se encuentran resultados contradictorios; tal es el caso del trabajo de Galvis *et al* (22), donde se reportó una relación negativa entre colesterol y producción lechera, que se contradice con lo reportado por otra investigación realizada por Westwood *et al* (55), donde se afirma que las concentraciones plasmáticas de colesterol fueron significativamente mayores en las vacas de alto mérito genético respecto a las de bajo mérito genético.

El descubrimiento de la hormona leptina ha introducido otra posible explicación al anestro. Es producida por los adipocitos y su principal función es regular la ingesta y la termogénesis. Además, cumple un rol en el control de la fertilidad en animales y humanos. Una deficiencia en la secreción de leptina o una falla en su receptor llevan a una disminución de la fertilidad o a un retraso en el inicio de la pubertad. Es probable que en las vacas con balance energético negativo haya una deficiencia en la secreción de leptina desde el tejido adiposo, la cual actuaría como una señal inhibitoria sobre el centro generador de pulsos de GnRH. Una vez que se recupera el equilibrio energético, la leptina estimularía la secreción de GnRH y por consiguiente se restablecerían los ciclos estrales (45). Las concentraciones de leptina son máximas durante la preñez y declinan hasta un nadir luego del parto. La recuperación de los valores de leptina luego

de llegar a este límite (nadir), depende aparentemente de la profundidad y extensión del balance energético negativo. La concentración plasmática de leptina fue más baja en vacas con mayor producción, con menor consumo de materia seca y con un balance energético más negativo; lo que puede evidenciar una relación estrecha con el balance energético más que con el mérito genético para la producción de leche. A pesar de que en este mismo trabajo no se encontró una clara

relación entre la leptina y la primera actividad luteal posparto, las mayores concentraciones de leptina fueron asociadas con menores intervalos al primer celo detectado; lo que podría indicar una relación entre la leptina y la expresión de celo (32). Las interacciones entre leptina y producción de leche son aún desconocidas, lo que crea un campo potencial de exploración para dilucidar el origen de los problemas reproductivos en la vaca de alta producción lechera.

### Summary

#### *Relations among the genetic merit to milk yield and metabolic and reproductive performance of high production cows*

*At the time that the genetic gain for milk production has increased, simultaneously, the cows' reproductive performance has gotten worse; nevertheless, the physiological reasons of this antagonism are not well determined. Some researchers believe that the fertility drop is only a question of nutritional deficiency due to the longer demand that implies the greater productive level. The upgrading in milk production, increases the cows' nutritional requirements; during the early postpartum period by natural reasons, a negative energy balance is showed and directly related with milk production, and according with some researchers has a negative correlation with the first ovulation postpartum interval. Many health disorders in cows with intensive genetic selection, as metabolic as infectious source occurs in early lactation period, and are related to the low intake previous to calving. Genetic merit to milk yield could have a significant effect on the change pattern of metabolites and hormones plasmatic concentrations, which could had an effect on the postpartum ovarian activity. Although several researchers admit the lowest fertility is correlated with the highest milk production, they affirm that the milk production is not the limiting main factor of ovarian resumption, and the reproductive performance could be more influenced by the energy balance. The objective of this article is to review about the genetic progress to milk yield and its effects on the metabolic and reproduction performance of the high production cow.*

**Keywords:** *energy balance, genetic improvement, metabolic profiles, ovarian resumption.*

### Referencias

1. Anzola HV. Relaciones entre la nutrición y la reproducción en ganado lechero. *Despertar Lechero* 1993; 9: 5-17.
2. Aranda MV, Brave N, Casagrande R. Colesterol en bovinos. 2001; [fecha de acceso: julio 15 de 2004]. URL: <http://www.PortalVeterinaria.com>.
3. 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.
4. Beam SW, Butler WR. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biol Rep* 1997; 56:133-142.
5. 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.
6. Beam SW, Butler WR. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility* 1999; 54 Suppl 1: 411-424.
7. 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.
8. Butler WR, Smith RD. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1989; 72: 767-783.
9. Butler WR. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science* 2003a; 83:211-218.

10. Butler WR. Nutrition and reproduction loss- can we feed our way out of it?. 2003b; URL: [http://www.ansci.umn.edu/~petersen\\_symposium/butler.pdf](http://www.ansci.umn.edu/~petersen_symposium/butler.pdf) .
11. Cameron ND. Selection indices and prediction of genetic merit in animal breeding. United Kingdom: CAB International; 1997.
12. Canfield RW, Butler WR. Energy balance and pulsatile luteinizing hormone secretion in early postpartum dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology* 1990;323-330.
13. Cardelillo R, Rovira J. Mejoramiento genético animal. Montevideo: Editorial Hemisferio Sur; 1987.
14. Dann HM, Varga GA, Putnam DE. Improving energy supply to late gestation an early postpartum dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82:1765-1778.
15. Dehning R. Diagnóstico y mejoramiento de la fertilidad en el hato. Series monográficas, CICADEP, ICA 1988; 2:1- 53.
16. Dehning R. Interrelaciones entre nutrición y fertilidad. Series monográficas, CICADEP, ICA 1988; 2:1- 38
17. De luca L. Fisiopatología del Hígado de las Vacas de Alta Producción. 2003; URL: <http://www.engormix.com/nuevo/prueba/areadeganaderialeche1.asp?valor=283> .
18. 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.
19. Dairy Herds Improvement Association Records. 2002; URL: <http://www.cdhia.org/links/national.html>.
20. Freeman AE, Lindberg GL. Challenges to dairy cattle management: Genetic consideration. *J. Dairy Sci* 1993; 76:3143-3159.
21. Funk DA. Optimal genetic improvement for the high producing herd. *J Dairy Sci* 1993; 76:3278-3288.
22. Galvis RD, Correa HJ, Ramirez NF. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de insulina, e IGF-1 en vacas en la lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* 2003; 16: 237-248.
23. García F. Nutrición y fertilidad de la vaca lechera. Monografía. Facultad de Veterinaria, Universidad de Buenos Aires, Buenos aires, 2003; URL: [www.nutrihelpanimal.ar](http://www.nutrihelpanimal.ar).
24. Gaviria BG, Gutiérrez HN, Molina SE, Ruiz MI, Tamayo PC. Estudios de la infertilidad bovina en las zonas lecheras de Antioquia. Municipio de Belmira. Universidad de Antioquia, Secretaria de Agricultura, ICA, Colanta; 2001.
25. Gonzáles A. Reproducción y nutrición. 2003; URL: <http://fmvz.uat.edu.mx/bpleche/bpleche/BPL34.htm>.
26. Grummer RR, Carroll DJ. A review of lipoprotein cholesterol metabolism: importance to ovarian function. *Journal of Anim Sci* 1988; 66:3160-3173.
27. Hansen LB. 2000. Consequences of Selection for Milk Yield from a Geneticist's Viewpoint. *Journal of Dairy Science*, 83 (5): 1145-1150.
28. 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.
29. Holmes CW, Wilson GF. Milk production from pastures. Wellington: Butterworths Agritural Books; 1984.
30. Ingvarsten KL, Andersen JB. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci* 2000; 83:1573-1597.
31. Kappel LC, Ingraham RH, Morgan EB, Zeringue L, Wilson D, Babcock DK. Relationship between fertility and blood glucose and cholesterol concentrations in Holstein cow. *American Journal of Veterinary Research* 1984; 45: 2607-2612.
32. Liefers SC, Veerkamp RF, Te pas MF, Delavaud C, Chilliard Y, Van del lende T. Leptin concentrations in relation to energy balance, milk yield, intake, live weight, and estrus in dairy cows. *J Dairy Sci* 2003; 86:799-80.
33. Londoño AP, Parra S. Heredabilidad y correlaciones entre producción de leche y algunas características reproductivas en un hato lechero. Trabajo de Grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1990, 97p.
34. 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.
35. Lucy MC, Staples CR, Thatcher WW, Erickson PS, Cleale RM, Firkins JL, Clark JH, Murphy MR, Brodie BO. 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.
36. McClure TJ. Nutritional and metabolic infertility in the cow. United Kingdom: CAB International; 1994.
37. Nebel RL, McGilliard. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci* 1993; 76: 3257-3268.
38. Ojango JM, Pollott GE. Genetics of milk yield and fertility traits in Holstein-Friesian cattle on large-scale Kenya farms. *J Anim Sci* 2001; 79:1742-1750.
39. Olori VE, Meuwissen TH, Veerkamp RF. Calving interval and survival breeding values as measure of cow fertility in a pasture-based production system with seasonal calving. *J Dairy Sci* 2002; 85:689-696.
40. Pate LJ. Effects of energy balance on ovarian function. Proceeding of the Tri-State Dairy Nutrition Conference April 20-21, United States of America; 1999.
41. Pryce JE, Coffey MP, Brotherstone SH, Woolliams JA. Genetic relationships between calving interval and body

- condition score conditional on milk yield. *J Dairy Sci* 2002; 85:1590-1595.
42. Quijano JH. Resultados del programa de selección con base en Holstein y cruzamiento con la raza colombiana blanca orejinegra. Seminario Internacional de Reproducción y Mejoramiento Genético en Bovinos. Ciudad de Panamá, Septiembre 2002.
  43. Rabiee AR, Lean IJ, Gooden JN, Miller BG. Relationships among metabolites influencing ovarian function in dairy cow. *J Dairy Sci* 1999; 82: 39-44.
  44. Recabarren SE. Anestro Postparto: Posible intermediación de señales metabólicas sobre la secreción de gonadotropinas en vacas lecheras. 2003; URL: [www.chillan.udec.cl/](http://www.chillan.udec.cl/).
  45. Restrepo JJ. Factores de variación que afectan algunas características reproductivas de un hato lechero. Trabajo de Grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1991, 78p.
  46. Rueda AN, Santa NI. Relación entre la tasa de crecimiento hasta el primer parto y la producción de leche durante la primera lactancia en novillas Holstein. Trabajo de Grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2002, 87p.
  47. Schillo KK. Effects of dietary energy on control of Luteinizing Hormone secretion in cattle and sheep. *J Anim Sci* 1992; 70:1271-1282.
  48. Spicer LJ, Tucker WB, Adams GD. Insulin-Like Growth Factor-I in Dairy Cows: Relationships among energy balance, body condition, ovarian activity, and estrous behavior. *J Dairy Sci* 1990; 73: 929-931.
  49. Studer E. A veterinary perspective of on-farm evaluation of nutrition and reproduction. *J Dairy Sci* 1998; 81: 872-876.
  50. Sutter F, Beever DE. Energy and nitrogen metabolism in Holstein-Friesian cows during early lactation. *Anim Sci* 2000; 70:503-514.
  51. Tomaszewsky MA. Record-Keeping system and control of data flow and information retrieval to manage large high producing herds. *J Dairy Sci* 1993; 76:3188-3194.
  52. 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.
  53. 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, 82p.
  54. Wattiaux A. Capítulo 16: Habilidad de transmisión predicha y confiabilidad. 2000; URL: <http://babcock.cals.wisc.edu/>.
  55. Westwood CT, Lean IJ, Garvin JK, Wynn PC. Effect of genetic merit and varying dietary protein degradability on lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2000; 83:2926-2940.
  56. Westwood CT, Lean IJ, Garvin JK. Factors influencing fertility of Holstein dairy cows a multivariate description. *J Dairy Sci* 2002; 85:3225-3237.
  57. Zambianchi AR, Freitas MA, Pereira CS. Efeitos Genéticos e de ambiente sobre produção de leite e intervalo dos partos em rebanhos leiteiros monitorados por sistema de informação. *Revista brasileira de zootecnia* 1999; 28:1263-1267.