



## Índices de selección y niveles independientes de descarte para dos características productivas y reproductivas en un hato holstein (*Bos taurus*)<sup>1</sup>

**R**evista  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarias

*Selection indexes and independent culling levels for two productive and reproductive traits in a holstein (*Bos taurus*) dairy herd*

*Índice de seleção e níveis independentes de abate para dois características produtivas e reprodutivas em um rebanho holstein (*Bos taurus*)*

Giovanni Restrepo<sup>1\*</sup>, Zoot, MV, MS; Edison J Pizarro<sup>2</sup>, Zoot; Jorge H Quijano<sup>3</sup>, Zoot, MS.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Politécnico Colombiano JIC, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Profesional independiente, Medellín, Colombia;

<sup>3</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. AA 1779, Medellín, Colombia.

(Recibido: 14 junio, 2007; aceptado: 6 junio, 2008)

### Resumen

*Con la finalidad de evaluar la selección mediante índices y niveles independientes de descarte (NID), para las variables producción de leche ajustada a 305 días (PL) y periodo abierto (PA), fueron analizados 1708 y 1206 registros para PL y DA, respectivamente. Mediante el programa MTDFREML se estimaron parámetros de heredabilidad de  $0.23 \pm 0.065$  y  $0.09 \pm 0.074$ , para PL y PA, respectivamente; y repetibilidad de  $0.34 \pm 0.061$  y  $0.18 \pm 0.054$ , para PL y PA, respectivamente. Las correlaciones genética, ambiental, y fenotípica se estimaron entre PL y PA, con valores de  $0.15 \pm 0.32$ ,  $0.42$  y  $0.34$ , respectivamente. Para la elaboración de Índices y NID, y para la estimación de sus progresos genéticos, fueron analizadas diferentes relaciones entre valores económicos relativos. Los mayores progresos fueron encontrados para unos valores económicos relativos de 1 a 3 (PA:PL). Así mismo, diferentes intensidades de selección fueron evaluadas encontrando para ambos casos que los mayores progresos genéticos fueron obtenidos para la máxima intensidad de selección utilizada (fracción seleccionada del 10%). Ambos métodos de selección demostraron la obtención de progresos genéticos simultáneos para los rasgos en estudio; sin embargo, de acuerdo con la estimación de una relación comparativa entre los progresos genéticos, se encontró que mediante el método de índices se proyectó un 12.6% más progreso genético por generación respecto del progreso estimado para NID. A pesar de esto y de ser el índice un método superior para la elección de los mejores animales, este requiere una estimación precisa de las correlaciones entre las características, lo cual no fue del todo factible en el desarrollo de este trabajo, por lo que se sugiere que el uso del NID es más conveniente para un programa de selección de esta naturaleza.*

**Palabras clave:** *parámetros genéticos, periodo abierto, producción de leche, progreso genético*

<sup>1</sup> Para citar este artículo: Restrepo G, Pizarro EJ, Quijano JH. Índices de selección y niveles independientes de descarte para características productivas y reproductivas en un hato holstein (*Bos taurus*). Rev Colomb Cienc Pecu 2008; 21:239-250.

\* Autor para el envío de la correspondencia y la solicitud de separatas: Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Carrera 48 N° 7-151, Of. P19-117. Medellín, Colombia. E-mail: grestrepo@elpoli.edu.co.

### Summary

With the purpose to evaluate genetic selection by using indexes and independent culling levels (ICL) for productive and reproductive traits, 305-d milk yield (MY) and days open (DO), 1707 and 1206 records for MY and DO, respectively, were analyzed. By means of the MTDFREML program genetic parameters for heritability of  $0.23 \pm 0.065$  and  $0.09 \pm 0.074$  for MY and DO, respectively, and for repeatability of  $0.34 \pm 0.061$  and  $0.18 \pm 0.054$  for MY and DO, respectively, were estimated. Also the genetic, phenotypic and environmental correlations between MY and DO were estimated, resulting in values of  $0.15 \pm 0.32$ ,  $0.42$  and  $0.34$ , respectively. For the indexes and ICL elaboration, and the estimation of genetic progress, different relations between relative economic values were analyzed. The highest progress was found for DO: MY economic values at 1:3 ratio. In the same way, evaluations for different selection intensities were done, where the highest genetic progress was obtained by the used of the maximum selection intensity (selected fraction of 10%) for both cases. Although with both selection methods the achievement of simultaneous genetic progress for each trait was demonstrated, by estimating a comparative relationship between both genetic progresses, a 12.6% more genetic progress by each generation was found for Index than for ICL methods. Nevertheless, despite being the Index a better method for selection of the best animals it requires a more precise estimation of correlations between traits, a process that was not feasible performed in the present study. Thereafter, ICL is proposed as the more convenient for that type of selection program.

**Key words:** open days, genetic parameters, genetic progress, milk production

### Resumo

A fim de avaliar a seleção através de índices e níveis independentes de abate (NID), para as variáveis produção de leite ajustada para 305 dias (PL) e dia aberto (DA), foram analisados os registros para 1708 e 1206 MP e DA, respectivamente. Através do programa MTDFREML parâmetros da herdabilidade de  $0,23 \pm 0,09 \pm 0.065$  e  $0.074$ , foram estimados para PL e PA, respectivamente, e parâmetros de repetibilidade de  $0.34 \pm 0.061$  e  $0.18 \pm 0.054$ , para PL e PA, respectivamente. Correlações genéticas, fenotípicas e ambientais foram estimados entre PL e PA, com valores de  $0.15 \pm 0.32$ ,  $0.42$  e  $0.34$ , respectivamente. Para o desenvolvimento de indicadores e NID, e para estimar seu progresso genético relações econômicas entre os diferentes valores foram analisados. O maior avanço foi encontrado por algum parente valores econômicos de 1 a 3 (DA:PL). Do mesmo modo, diferentes intensidades de seleção foram avaliadas para ambos os casos, constataram que os maiores progressos genéticos foram obtido para a intensidade máxima de seleção utilizada (fração selecionados a partir de 10%). Ambos os métodos de seleção mostrou obtenção de progressos simultâneos características genéticas no estudo, mas de acordo com a estimativa de uma relação entre o progresso genético comparativo, verificou-se que utilizando o índice é projetado um aumento 12.6% progresso genético uma geração de progresso em matéria estimado para NID. Apesar disto, e se o índice for superior a um método para a escolha das melhores animais, isto requer uma estimativa precisa das correlações entre as características, o que não era totalmente viável para o desenvolvimento deste trabalho, de modo a uso de NID é sugerido é mais adequado para um programa de seleção desta natureza.

**Palavras chave:** dia aberto, parâmetros genéticos, produção de leite, progresso genético

### Introducción

La reproducción y la producción de leche son eventos fisiológicos determinantes en la rentabilidad económica de una lechería. En las razas típicamente lecheras, la selección ha tenido como prioridad la producción de leche y se ha subestimado el mejoramiento de la reproducción (17), de tal manera que la alta producción de leche ha sido asociada con una disminución en la eficiencia reproductiva (9), caracterizando un antagonismo genético entre estos

dos rasgos (6, 11, 23), pues correlaciones genéticas entre los mismos han sido descritas como positivas, moderadas a altas y antagónicas involucrando rasgos relacionados con la fertilidad como el intervalo entre partos, el número de servicios por concepción, el porcentaje de vacas en anestro, y la edad al primer parto. Además, los valores de cría estimados para la producción de leche y la reproducción han sido descritos como positivamente correlacionados para toros con promedios superiores en sus valores de cría para el rendimiento de leche (3, 5, 16), con

lo cual se reducen las intensidades de selección y las ganancias genéticas posibles por la selección. Largos periodos de gestación y mayores índices de retención de placenta, también han sido reportados (3), de manera que una alta mejora genética con el fin de aumentar al máximo los volúmenes de leche, no sólo ha afectado la eficiencia reproductiva, sino que a la par ha aumentado la incidencia de enfermedades asociadas a la reproducción, incluso evidenciada a través del cálculo de correlaciones genéticas (18).

Para la producción de leche se reportan en el medio colombiano valores para heredabilidad de entre 20 y 25% (19, 21, 22), mientras que las características relacionadas con el desempeño reproductivo como el período (días) abierto (PA) y el intervalo entre partos (IEP) se caracterizan porque los valores encontrados para sus parámetros genéticos son generalmente bajos, con valores de heredabilidad inferiores al 10%, en la mayoría de los casos (6). Dada esta situación, algunos autores catalogan como inconveniente la inclusión de rasgos relacionados con la reproducción en los sistemas de selección; sin embargo, también se ha considerado que la selección para producción de leche debe estar rigurosamente asociada al monitoreo de las características de fertilidad dado el antagonismo cada vez mayor entre estos rasgos, derivado del mejoramiento genético unidireccional (5, 18).

La selección por NID para cada característica permite el establecimiento de unos niveles mínimos de aceptación y el descarte de los individuos que estén por debajo de ellos (25, 27); solamente hay una combinación de niveles en términos de la fracción reservada que permite al valor de diferencial de selección ( $\Delta S$ ) ser el máximo y su combinación depende de las heredabilidades, las correlaciones y la fracción total de la población que debe reservarse. Además, puede relacionarse al valor económico relativo que cada característica tenga en relación de la meta señalada (28). Algunos reportes de aplicación exitosa de NID se conocen para características antagónicas genéticamente (1, 20).

El índice de selección es un método de puntaje total en el cual se desarrolla una ecuación de regresión múltiple que da valores óptimos a la importancia económica de cada característica, la heredabilidad de cada característica y a las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las características, de manera que permite separar genotipos con base en la evaluación simultánea de varios caracteres (7) y ordenar los animales basándose en el valor obtenido (25, 27). Recientemente se ha implementado la selección por índices apoyada por marcadores moleculares (24).

Por lo tanto, mediante esta investigación se planteó la evaluación de los métodos de selección por niveles independientes de descarte (NID) e índices de selección, mediante el cálculo de los progresos genéticos respectivos para cada rasgo, de manera que fuese factible establecer su conveniencia de implementación en los programas de mejoramiento genético para una ganadería lechera.

## Materiales y métodos

### *Tipo de estudio*<sup>1</sup>

Análisis de selección genética mediante evaluación retrospectiva de registros de producción de leche y PA.

*Población.* Registros productivos y reproductivos de vacas holstein (*Bos taurus*). Para este estudio se empleó información de registros provenientes del centro Paysandú, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, el cual está ubicado en el corregimiento de Santa Elena del municipio de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia, exactamente a los 5° de latitud norte y 75° de longitud oeste (13), se encuentra en la zona de vida ecológica bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) según la clasificación de Holdridge, con una altura de 2600 msnm. La temperatura promedio anual es de 12.5 °C y la precipitación promedio de 2500 mm anuales. La distribución de lluvias es bimodal, con una época de lluvia comprendida por los meses de abril, mayo, junio, septiembre, octubre

1 Nota del Editor: este tipo de estudio no requiere el aval de un Comité de ética para la experimentación animal.

y noviembre, correspondiendo los demás meses a la época seca (13).

*Muestra.* Para el estudio se dispuso originalmente de un archivo con 1710 registros de lactancias de las cuales 1708 lactancias fueron efectivas para el análisis de la producción de leche ajustada a 305 días, mientras 1206 lactancias disponían de información completa para el análisis de la variable dependiente PA. Estos registros correspondieron a lactancias de vacas de la raza holstein del hato Paysandú, desde el año 1956 hasta el 2000.

#### *Análisis estadístico*

Como efectos fijos fueron considerados los efectos: “año de parto”, “época de parto” y “número de parto”, conocidos por su importancia en la producción de leche (26). Adicionalmente, las variables duración de la lactancia anterior (DLA) y producción de leche ajustada anterior (PLa), fueron incluidas como efectos de posible incidencia sobre la variable PA. Con el fin de aumentar la precisión de los parámetros y valores genéticos estimados, se dispuso de un archivo maestro de pedigrí, conformado por 658 pedigríes completos, cada uno con los números de registro o identificación de la vaca, del padre y de la madre. La depuración de las bases de datos y el establecimiento de efectos y covariables significativas se realizó mediante los programas Excel, Statgraphics, SAS, y Harvey.

El cálculo de los parámetros genéticos, los valores de cría, y la correlación genética, fenotípica y ambiental entre la producción de leche y el PA, fueron realizados mediante el programa Modelo Animal (MTDFREML) (4). Los valores correspondientes a las habilidades predichas de transmisión (HTP's) para PL y PA fueron calculados con sus bases genéticas para 1995, las cuales fueron de 25.240 Kg y -1.9629 días, respectivamente. Para el caso de las correlaciones fue utilizada la información de 1206 lactancias con datos completos de efectos, variables dependientes y covariables. En la evaluación se utilizó el modelo animal para la producción de leche ajustada a 305 días y para el PA, bajo el siguiente modelo:

$$Y: XP + Zg + Wp + e$$

Donde:

- Y: vector de observaciones de cada característica.
- X: matriz de incidencia de los efectos fijos conocidos
- P: vector de efectos fijos desconocidos.
- Z: matriz de incidencia de valores genéticos aleatorios conocidos
- g: vector de valores genéticos a predecir.
- W: matriz de incidencia de efectos de ambiente permanente conocidos.
- p: vector de ambiente permanente desconocido.
- e: vector aleatorio del error asociado.

Una vez conocidos los valores reproductivos para las características, representados como HTP, se procedió a establecer niveles independientes de descarte constituyendo niveles que variasen la tasa de reemplazo en intervalos del 10%, obteniendo por lo tanto diferentes estimados del progreso genético por generación, al aumentar o disminuir la intensidad de selección. El progreso genético por NID se calculó mediante la fórmula de Hazel y Luz (1943), citados por Stonaker (25).

$$\Delta H_{NID} = nah^2 \cdot I_p \cdot \sigma$$

$$\text{Donde: } I_p = Z / p \quad \text{y} \quad p = \sqrt[n]{b}$$

$\Delta H_{NID}$ : progreso genético por generación esperado para la selección por NID.

n: número de características.

a: valor económico relativo para la característica.

$h^2$ : heredabilidad.

$I_p$ : intensidad de selección de los NID.

p: porcentaje reservado de acuerdo con el mérito en cada característica según NID.

b: fracción de los descendientes que se necesitan como reemplazos.

$\sigma$ : desviación fenotípica de la característica.

El valor de  $I_p$  fue hallado a través de tablas para intensidad de selección de Cardellino y Rovira (8), conociendo b.

El índice de selección fue estimado de acuerdo con la fórmula:

$$I = b_i X_i + \dots + b_n X_n,$$

Donde:

I: índice de selección

$B_i$ : coeficiente de regresión parcial para cada característica que indica en cuanto cambia

el mérito neto o agregado total para varias características cuando la característica Xi cambia en una unidad estando la otra característica aun nivel constante.

Xi: el valor fenotípico de la característica i expresado como una desviación de su media ( $X_i - \bar{X}$ ).

Para la estimación de los coeficientes de regresión parcial para producción de leche y PA, fue necesario emplear los componentes de varianza y covarianza generados por el modelo animal, derivados de los estimados de heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas, además de diferentes relaciones de valores económicos relativos para la construcción de una ecuación de matrices para cada relación. La ecuación fue despejada como se ilustra a continuación:

$$Pb = G \times a, \text{ de donde } b = P^{-1} G \times a$$

Donde:

P: matriz 2 x 2 de varianzas y covarianzas fenotípicas.

P<sup>-1</sup>: matriz 2 x 2 inversa de P.

b: matriz 2 x 1 de coeficientes de regresión parcial a conocer.

G: matriz 2 x 2 de varianzas y covarianzas genéticas.

a: matriz 2 x 1 de valores económicos relativos.

El progreso genético para el índice de selección fue calculado mediante la siguiente fórmula propuesta por Hazel y Lush (1943), citados por Stonaker (25).

$$\Delta H_{IND} = \sqrt{n} a h^2 \cdot Ib \cdot \sigma$$

$$\text{Donde: } Ib = Z / b$$

$\Delta H_{IND}$ : progreso genético por generación esperado para la selección por Índice.

n: número de características que se seleccionan simultáneamente.

a: valor económico relativo para la característica.

h<sup>2</sup>: heredabilidad de la característica

Ib: intensidad de selección para el índice.

b: fracción de los descendientes que se necesitan como reemplazos.

$\sigma$ : desviación fenotípica de la característica.

El valor de Ib fue hallado a través de tablas para intensidad de selección de Cardellino y Rovira (8), conociendo b.

La comparación entre los dos métodos de selección respecto de los animales descartados y seleccionados, se realizó considerando una tasa de reemplazo para el hato del 25%, y mediante la determinación de la relación porcentual ( $\Delta H_{IND}$ :  $\Delta H_{NID}$ ) existente entre el progreso genético para la selección por índice y la selección por NID.

## Resultados

En los resultados de los componentes de varianza para la producción de leche ajustada a 305 días (véase Tabla 1), se observó que los efectos fijos, “año de parto” y “número de parto” fueron altamente significativos ( $p < 0.05$ ), mientras el efecto “época de parto” no lo fue. Para el caso de los componentes de varianza para los PA (véase Tabla 2), el efecto “año de parto” y las covariables DLa y PLa anterior fueron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ), mientras los efectos fijos “número de parto” y “época de parto” no fueron estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 1.** Análisis de varianza para producción de leche ajustada a 305 días.

Fuente	GL	SC	CM	F-Calculada	Valor de P
Efectos					
Toro	155	5.70506E8	3.68068E6	3.80	0.0000
Año de parto	44	3.70935E8	8.43035E6	8.70	0.0000
Época de parto	1	2.44373E6	2,44373E6	2.52	0.1122
Número de parto	9	3.25251E8	3.61391E7	37.31	0.0000
Residual	1498	1.45116E9	968733.0		
Total (corregido)	1707	3.53752E9			

Tabla 2. Análisis de varianza para el periodo abierto.

Fuente	GL	SC	CM	F-Calculada	Valor de P
Covariables					
DL Anterior	1	2.44889E6	2,44389E6	1092.73	0.0000
PDC Anterior	1	12648.4	12648.4	5.66	0.0174
Efectos					
Toro	136	448785	3299.89	1.48	0.0007
Año de parto	43	151512	3523.53	1.58	0.0113
Época de parto	1	757.38	757.38	0.34	0.5606
Número de parto	8	10954.2	1369.27	0.61	0.7682
Residual	1015	2.27006E6	2236.51		
Total (corregido)	1205	6.85848E6			

La media para la característica producción de leche fue de 6570.1 Kg con un coeficiente de variación bajo (14.98%) y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del 0.59, el que indica que los efectos fijos tenidos en cuenta explicaron en un 59% la característica producción de leche. La media para la característica PA fue de 132.5 días con un coeficiente de variación medio (35.67%) y un  $R^2$  del 0.67, lo que indica que los efectos fijos y las covariables tenidas en cuenta explicaron en un 67% la característica PA.

Los resultados para la heredabilidad de la producción de leche ajustada a 305 días y PA con sus respectivos errores estándar fueron  $0.23 \pm 0.065$  y  $0.09 \pm 0.074$ , respectivamente (véase Tabla 3), lo que indica que en estas proporciones la variabilidad fenotípica para estas características es debida a la genética aditiva. Mientras tanto, la repetibilidad para la producción de leche fue del  $0.34 \pm 0.061$  y para el PA de  $0.18 \pm 0.054$ ; de conformidad con estas proporciones, la variabilidad para estos rasgos es debida a la genética aditiva más el ambiente permanente propio del animal. Dichos estimados de heredabilidad y repetibilidad fueron cercanos a los reportados por la literatura (12, 15, 21).

Tabla 3. Parámetros genéticos y errores estándar estimados.

Parámetro estimado	Producción de leche (Promedio $\pm$ DE)	Periodo abierto (Promedio $\pm$ DE)
Heredabilidad ( $h^2$ )	$0.23 \pm 0.065$	$0.09 \pm 0.074$
Repetibilidad (r)	$0.34 \pm 0.061$	$0.18 \pm 0.054$

Los valores calculados para las correlaciones fenotípica, genética y ambiental entre la producción de leche y los PA se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Correlaciones y errores estándar entre producción de leche ajustada a 305 días y periodo abierto.

Correlación	Valor
Fenotípica $r(P_{1,2})$	0.34
Genética $r(A_{1,2})$	0.15 (0.32)*
Ambiental $r(E_{1,2})$	0.42

\* Error estándar de la correlación genética.

En la Figura 1 se presentan los resultados para los valores genéticos para producción de leche ajustada y PA calculados mediante el modelo animal para la población en estudio, expresados como HPT. La exactitud de los valores genéticos estimados para PA fue del 13 al 62%, mientras que la exactitud calculada para producción de leche por lactancia tuvo un rango entre el 25 y el 78%.

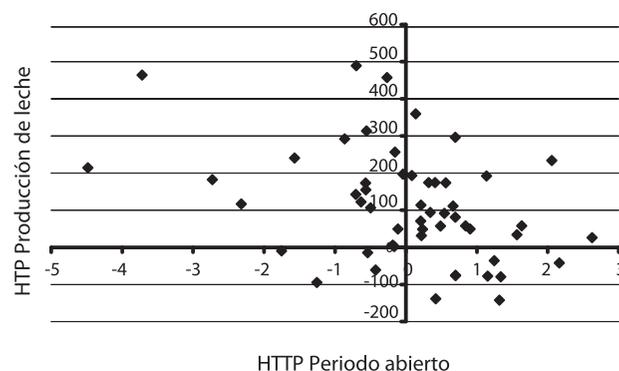


Figura 1. Distribución de la población en estudio según sus habilidades predichas de transmisión para producción de leche y periodo abierto.

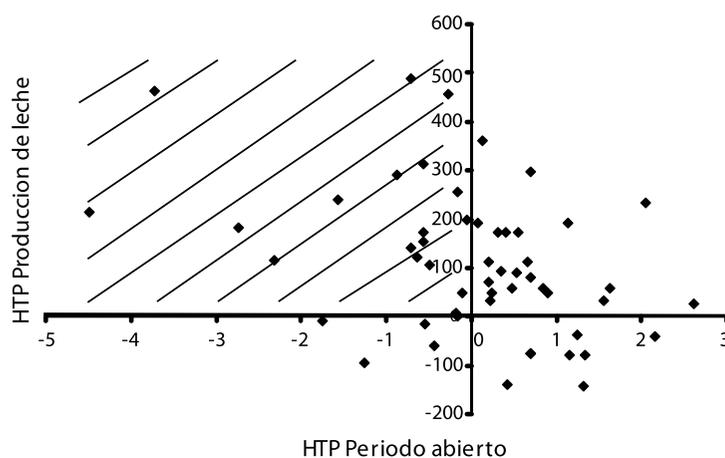
Un resumen de los valores estimados como progreso genético para la producción de leche y los PA, obtenidos a través de NID, utilizando diferentes relaciones proporcionales entre los valores económicos relativos y diferentes intensidades de selección, se presentan en las tablas 5 y 6 respectivamente. Por su parte, en la figura 2 se muestra un ejemplo de niveles independientes de descarte donde se seleccionarían sólo los animales

que mejoran de manera simultánea para ambas características (28% de la población).

Un resumen de los valores estimados como progreso genético para la producción de leche y los PA, obtenidos a través de la selección por índices, utilizando diferentes relaciones proporcionales entre los valores económicos relativos y diferentes intensidades de selección se presentan en la tabla 7.

**Tabla 5.** Estimados del progreso genético por generación mediante la selección por NID.

Relación entre valores económicos (PDC-DA)	Fracción seleccionada (b)	Intensidad de selección (Ip)	$\Delta H_{NID}$ producción (Kg.)	$\Delta H_{NID}$ Periodo abierto (días)
1:1	20	0.88	258.0	-4.45
	40	0.60	175.9	-3.04
	60	0.38	111.4	-1.92
	80	0.19	56.6	-0.98
1:2	20	0.88	172.0	-5.94
	40	0.60	117.3	-4.05
	60	0.38	74.3	-2.56
	80	0.19	37.7	-1.30
1:3	20	0.88	129.0	-6.68
	40	0.60	87.9	-4.56
	60	0.38	55.7	-2.89
	80	0.19	28.3	-1.47
2:1	20	0.88	344.0	-2.94
	40	0.60	234.6	-2.00
	60	0.38	148.6	-1.27
	80	0.19	75.4	-0.64
3:1	20	0.88	387.0	-2.23
	40	0.60	263.9	-1.52
	60	0.38	167.1	-0.96
	80	0.19	84.9	-0.49



**Figura 2.** Ejemplo de NID con una fracción descartada del 72%, correspondientes a progresos genéticos de mínimo 0 Kg para producción de leche por lactancia y de máximo 0 días para los PA. Las líneas de los ejes X y Y en la figura representan la ubicación de los límites o NID para cada característica, de manera que los animales que se encuentran dentro del área con líneas transversales corresponden a los animales seleccionados.

**Tabla 6.** Índices de selección para diferentes proporciones entre valores económicos relativos (a1 A a2), ordenados de manera descendente para los 10 mejores individuos.

Animal	X1	X2	I 1 A 1	I 2 A 1	I 3 A 1	I 1 A 2	I 1 A 3
9407	76.3	10189.5	456599.7	465457.3	474315.4	904340.2	1352081.3
9420	74.5	10097.0	452683.9	461465.5	470247.7	896584.6	1340485.9
9510	54.0	9589.5	433298.6	441704.3	450110.4	858190.3	1283082.5
9201	75.8	9401.9	420219.3	428371.2	436523.5	832285.3	1244351.8
9417	115.5	9136.3	399948.6	407706.9	415466.0	792136.5	1184325.3
9302	87.3	8763.3	388329.9	395863.0	403396.7	769124.9	1149920.6
9616	80.0	8706.5	387175.4	394686.1	402197.4	766838.4	1146501.9
9516	67.0	8644.7	386924.3	394430.3	401936.7	766341.4	1145758.8
9601	52.0	8565.0	386249.3	393742.3	401235.6	765004.6	1143760.2
9215	66.8	8469.8	378875.4	386225.2	393575.4	750399.6	1121924.2

X1: Valor fenotípico promedio para PA de las vacas actuales.

X2: Valor fenotípico promedio para producción de leche / lactancia de las vacas actuales.

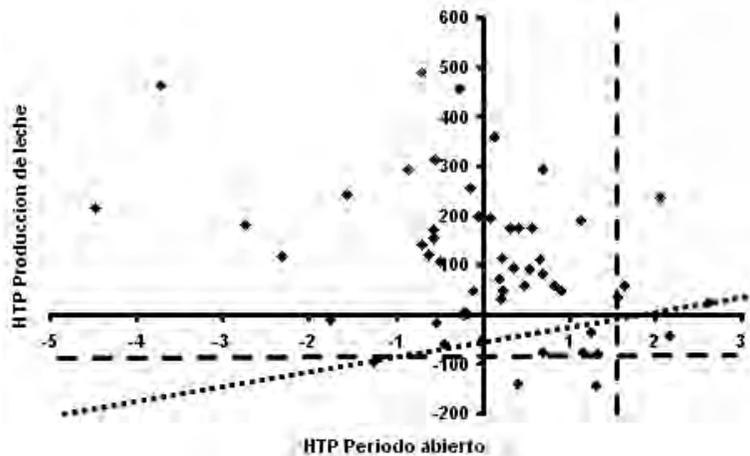
I a1 A a2: Índice de selección por animal, con coeficientes de regresión parcial (bi), a1: Valor económico relativo para PA y a2: Valor económico relativo para producción de leche.

**Tabla 7.** Estimados del progreso genético por generación mediante la selección por índices.

Relación entre valores económicos (PDC-DA)	Fracción seleccionada (b)	Intensidad de selección (lb)	$\Delta H_{IND}$ Producción (Kg)	$\Delta H_{IND}$ Periodo abierto (días)
1:1	20	1.40	290.3	-5.01
	40	0.97	200.3	-3.46
	60	0.64	133.5	-2.30
	80	0.35	72.5	-1.25
1:2	20	1.40	193.5	-6.68
	40	0.97	133.5	-4.61
	60	0.64	89.0	-3.07
	80	0.35	48.3	-1.67
1:3	20	1.40	145.1	-7.52
	40	0.97	100.1	-5.19
	60	0.64	66.7	-3.46
	80	0.35	36.2	-1.88
2:1	20	1.40	387.0	-3.31
	40	0.97	267.1	-2.28
	60	0.64	178.0	-1.52
	80	0.35	96.7	-0.83
3:1	20	1.40	435.4	-2.51
	40	0.97	300.4	-1.73
	60	0.64	200.3	-1.15
	80	0.35	108.8	-0.63

Considerando una tasa de reemplazo del 25%, los NID establecidos fueron de 1.6 días como nivel máximo aceptable para HTP de PA, y -62 Kg de leche por lactancia como nivel mínimo aceptable para HTP de producción de leche, lo que correspondió a

26 animales. De la misma forma, los 26 individuos con mayor índice fueron seleccionados mediante esta metodología, lo que demostró que sólo se difiere en dos animales entre ambos métodos de selección (véase Figura 3).



**Figura 3.** Representación de los animales seleccionados y descartados según cada uno de los métodos (NID, Índice), para una tasa de reemplazo del 25%.

Los animales ubicados entre el cuadrante superior izquierdo, respecto de las líneas discontinuas que delimitan los NID, son los animales seleccionados por este método, mientras los demás animales son descartados. Los animales seleccionados de acuerdo con el índice de selección son los ubicados sobre la línea punteada, mientras son descartados los animales por debajo de ella. Por otra parte, la relación proporcional entre el progreso genético para los métodos de selección por NID e Índice, fue de 1 a 1.126, respectivamente, independientemente de la tasa de reemplazo y la relación entre los valores económicos fijada. Los resultados demuestran un mayor progreso genético por el método del índice de selección, por el orden del 12.6% para todos los casos, respecto del progreso genético aportado por el método de selección por NID.

### Discusión

El cálculo de correlaciones necesarias para la construcción de los métodos de selección permitió establecer una correlación genética baja del 15% entre la producción de leche y el PA, la que indica que la relación entre las mismas es positiva y antagónica, pues en esta medida cuando la producción de leche en su componente aditivo aumenta, los PA igualmente tienden a aumentar, siendo esto último indeseable en términos de eficiencia reproductiva. Sin embargo, es importante considerar que la proporción debida al ambiente para estos rasgos es particularmente alta y que

esto conlleva que la precisión en el estimado de su correlación incluya un estimado del error estándar bastante alto ( $0.15 \pm 0.32$ ), razón por la cual no se puede concluir que el antagonismo genético entre estos rasgos esté demostrado y, por el contrario, podría aceptarse que en este caso ambas características se comportan casi independientemente. Sin embargo, la correlación fenotípica encontrada del 34%, muestra en mayor medida como la relación entre los registros de producción de leche y PA es desfavorable en términos de eficiencia reproductiva. Mientras tanto, la correlación ambiental de acuerdo con la magnitud de su estimado (42%), muestra como el ambiente es el conjunto de factores más influyente en cuanto a la relación entre estas características, pues indica la influencia que pueden tener los mismos efectos ambientales sobre ambos rasgos, lo que revela que el mismo ambiente que favorece el incremento en la producción de leche, favorece el aumento en el PA. De conformidad con lo anterior, sería necesario disminuir la variación ambiental para contrarrestar este efecto, posiblemente a través del mejoramiento de las prácticas nutricionales, sanitarias y de manejo (10). Galvis *et al* (14) reportaron correlaciones genética y fenotípica entre PA y producción de leche de  $0.212 \pm 0.305$  y  $0.45$ , respectivamente; mientras que otros autores informaron correlaciones genéticas y fenotípicas positivas y antagónicas entre diferentes características de producción y fertilidad (11).

Con la construcción de los NID pudo evidenciarse que con este método de selección

es difícil establecer la fijación de los niveles de aceptación para cada característica, dependiendo directamente de factores como la relación entre los valores económicos relativos o la proporción de reemplazos. De igual forma, se observó que con la aplicación de NID son descartados algunos animales por mérito insuficiente para una de las características, teniendo un mérito alto para la otra, en concordancia con lo reportado por Wattiaux (27), quien encontró que un animal puede ser descartado por fallar al alcanzar un estándar, aún si en otros rasgos puede exceder los estándares mínimos. Como resultado de una exigencia más alta en los niveles de aceptación, cuando la fracción seleccionada de los animales disponible se hace menor, la intensidad de selección por NID ( $I_p$ ) se hace mayor, de manera que el progreso genético esperado es a su vez cada vez mayor y el progreso esperado es menor por la utilización de niveles de aceptación más flexibles. Los progresos genéticos encontrados para la selección por NID se ven afectados de acuerdo con la importancia relativa de un rasgo respecto del otro, en cuanto a su valor económico. De manera que, cuando se da una mayor importancia económica a uno de los rasgos, su progreso genético será mayor mientras el progreso genético esperado para el otro rasgo siempre va a disminuir.

Para el caso de la selección por índices, los animales con un valor mayor son considerados superiores simultáneamente para las características en estudio, sin existir ninguna relevancia especial en cuanto al monto del índice estimado. Como pudo observarse, la clasificación de los animales según su índice siempre fue la misma, independientemente de la importancia en el valor económico para cada característica (véase Tabla 6). De ahí que, el valor económico relativo tanto para los índices de selección como en la selección por NID, es relevante en cuanto al cálculo de los progresos genéticos, para los cuales cuanto menor fue la proporción de animales seleccionados, mayor fue la intensidad de selección ejercida y por consiguiente fue mayor el progreso genético estimado por generación (véase Tabla 7).

Como se mencionó antes, cuando se selecciona según los NID se es menos preciso en la forma de establecer los niveles de aceptación, mientras que

en la selección por índice se escogen los individuos con los valores de índice más altos, considerando así en un solo valor el mérito conjunto para ambas características. En la figura 3 se observa como el índice conserva aquellos animales que el NID descarta teniendo un mérito genético apropiado para una de las características, pero falla en una baja proporción en el nivel de aceptación establecido para el otro rasgo, en concordancia con otros autores quienes resaltan que en la selección por índice el mérito extra en una característica puede compensar una medida menor en otra característica (28).

Respecto de la aplicación de los métodos de selección para el hato en estudio, se debe considerar que la tasa de reemplazo del 25% empleada en éste caso a causa de las metas establecidas, restringe en gran medida la posibilidad de obtener mayores progresos genéticos (véanse Tablas 5 y 7), a causa de la implementación de una baja intensidad de selección, con la consecuente flexibilidad en los niveles de aceptación para el NID y en el valor mínimo aceptable para el índice.

La determinación de la relación proporcional entre el progreso genético alcanzado por el índice en comparación con el progreso genético para el NID en ambas características, estableció una superioridad del 12.6% a favor del índice para todos los casos, lo cual coincide con lo expuesto por Bath *et al* (2) quienes catalogan al índice de selección como un método más eficiente que el NID, y con lo reportado por Stonaker (25) quien demuestra como el progreso genético alcanzado cuando se selecciona mediante índice, es mayor que en el caso de la selección por NID.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, se concluye que la aplicación de los métodos de selección por índice o por NID, permite la selección simultánea para características productivas y reproductivas, con la obtención de progresos genéticos simultáneos, de manera que pueda ser factible la búsqueda de un mayor equilibrio en su desempeño, que permita mejorar los parámetros reproductivos a largo plazo, disminuyendo la presentación de problemas, y que a su vez mantenga un nivel productivo acorde con las características de la explotación, en beneficio de la rentabilidad de la misma.

Es necesario, sin embargo, tener en cuenta que ante el predominante componente ambiental existente para la relación entre estos rasgos, la selección por NID no debe ser muy estricta en cuanto a los niveles de aceptación para la característica PA; además, este proceso debe estar necesariamente acompañado de mejoras ambientales. En el caso específico de la selección por índice, a pesar de que este método de selección demostró propiciar un mayor progreso genético esperado por generación, su aplicación debe ser cautelosa ya que incluye dentro de su construcción una baja correlación genética con un alto estimativo de error estándar, lo cual impide configurar de manera clara la relación existente entre los rasgos en estudio. De manera que, para un programa de mejoramiento genético bidireccional, que contemple la selección para características productivas y reproductivas con base en la utilización de valores genéticos estimados, la selección por NID es más conveniente que la selección por el método de índice.

## Referencias

1. Arnold JW, Bertrand JK, Benyshek LL, Comerford JW, Kiser TE. Selection for low birth weight and high yearling weight in Angus beef cattle. *Livest Prod Sci* 1990; 25:31-41 [Abstract]
2. Bath DL, Dickinson NF, Tucker A, Appleman D. Ganado lechero principios, practicas, problemas y beneficios. 2<sup>nd</sup> ed. México: Nueva Editorial Interamericana; 1982.
3. Berger PJ, Shanks RD, Freeman AE, Laben RC. Genetic aspects of milk yield and reproductive performance. *J Dairy Sci* 1981; 64:114-122. [Pdf]
4. Boldman KG. A manual for use of MTDFREML, a set of programs to obtain estimates of variances and covariances. USDA, Agricultural Research Service; 1993.
5. Campos JC. Melhoramento genético aplicado à producao animal. Belo Horizonte: FEP-MVZ; 1999.
6. Campos MS, Wilcox CJ, Becerril CM, Diz A. Genetic parameters for yield and reproductive traits of Holstein and Jersey cattle in Florida. *J Dairy Sci* 1994; 77:867-873. [Pdf]
7. Cardellino R, Rovira J. Mejoramiento genético animal. Buenos Aires: Hemisferio Sur; 1987.
8. Cerón-Rojas J, Sahagún-Castellanos J. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 2005; 39:667-677. [Pdf]
9. Córdova A, Pérez J. Relación reproducción-producción en vacas Holstein. *Revista electrónica de veterinaria* 2005; [fecha de acceso: enero 20 de 2008] URL: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n020205/020537.pdf>
10. Correa HJ. Relación producción-reproducción en hatos de alto potencial genético y propuestas nutricionales para mejorarla. *Boletín Técnico de la Facultad Nacional de Agronomía*, 15 p. Medellín, 2001.
11. Dematawewa CMB, Berger PJ. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in holsteins. *J Dairy Sci* 1998; 81:2700-2709. [Pdf]
12. Echeverri J, Salazar V, Múnera D. El cruzamiento como estrategia para mejorar la rentabilidad de hatos lecheros. *Rev Lasallista Inv* 2006; 3:48:52. [Pdf]
13. Espinal TL. Geografía ecológica del departamento de Antioquia: Zonas de vida, formaciones vegetales del departamento de Antioquia. *Rev Fac Nal Agr Medellín* 1985; 38:80.
14. Galvis R, Múnera E, Marín A. Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2005; 18:228-238. [Pdf]
15. Gonzáles O, Pérez M, Alenda R. Parámetros genéticos de los caracteres de fertilidad en el vacuno de leche 2003; [fecha de acceso: enero 20 de 2008] URL: <http://www.dcam.upv.es/acteon/CONGRESOS/AIDA2003/gonzalez.pdf>
16. Hermás SA, Young CW, Rust JW. Genetic relationships and additive genetic variation of productive and reproductive traits in Guernsey dairy cattle. *J Dairy Sci* 1987; 70:1252-1257. [Pdf]
17. Jones WP, Hansen LB, Chester-Jones H. Response of health care to selection for milk yield of dairy cattle. *J Anim Sci* 1994; 77:3137:3152. [Pdf]
18. Kadarmideen HN, Thompson R, Simm G. Linear and threshold model genetic parameters for disease, fertility and milk production in dairy cattle. *J Anim Sci* 2000; 71:411-419.
19. MacNeil MD, Urick JJ, Snelling WM. Comparison of selection by independent culling levels for below-average birth weight and high yearling weight with mass selection for high yearling weight in line 1 Hereford cattle. *J Anim Sci* 1998; 76:458-467. [Pdf]
20. Manjarres JC. Adaptación del programa modelo animal para calcular valores genéticos en el centro Paysandú. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1998. 89p.
21. Montoya C. Estimación del valor genético para producción de leche a través de un modelo lineal mixto con repetibilidad (Modelo Animal). Trabajo de investigación. Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1985. 71 p.

22. Montoya C. Evaluación genética de reproductores lecheros en Antioquia a través del mejor predictor lineal insesgado. Trabajo de investigación. Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1996. 89 p.
23. Pereira JCC. Estudo da relação genética entre características produtivas e reprodutivas de um rebanho nativo da raça Caracu. Belo Horizonte: UFMG-Escola de Veterinária; 1993.
24. Romero J, Sahagún J, Ramírez G, Rendón G. Índice de selección genotípica apoyado en marcadores moleculares ligados. *Agrociencia* 2004; 38:293-303. [Pdf]
25. Stonaker H. Genética para el mejoramiento animal. México: Centro regional de ayuda técnica; 1977.
26. Valencia M, Ruíz F, Montaldo H, Trejo B, Keown J, *et al.* Estimación de factores de corrección edad-mes de parto para producción de leche en ganado holstein en México. *Tec Pecu Mex* 2000; 38:9-18. [Pdf]
27. Wattiaux MA. La elección de un toro 2000; [fecha de acceso: marzo de 2002] URL:<http://www.babcock.cais.wisc.edu>
28. Willham RL, Conley GO. La genética de las poblaciones aplicada al mejoramiento animal. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1969. 148p.