

CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES DE SELECCIÓN PARA GANADO HOLSTEIN EN EL TRÓPICO ALTO DE NARIÑO

CONSTRUCTION OF SELECTION INDICES FOR HOLSTEIN CATTLE IN THE HIGH TROPIC OF NARIÑO

María F. Betancur-Zambrano¹, Karen N. Páez-Ordóñez¹, Carlos Solarte-Portilla², Edgar Osejo-Rosero³

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el Trópico Alto de Nariño, sur occidente de Colombia, con el objetivo de construir índices; de selección de fácil aplicación para el ganado holstein de esta región. Se construyeron dos índices; el primero con ponderaciones económicas incluyendo las características de producción de leche (PL), grasa (G) y proteína (P) y el segundo índice con las desviaciones estándar fenotípicas de los rasgos antes mencionados, adicionando las características de tipo, ligamento suspensorio medio (LIS), ángulo de la pezuña (ANDEP) y ancho de pecho (ANPEC), por su importancia funcional en esta zona. La información necesaria fue recolectada en 296 hatos, localizados en los distritos lecheros de Pasto, Guachucal y Pupiales, donde se incluyeron 50, 133 y 113 fincas respectivamente. La producción de leche, grasa y proteína fue ajustada a 305 días y equivalente adulto. En total se evaluaron 2372 lactancias, con un promedio de 1,98 lactancias por animal. La evaluación lineal fue realizada una sola vez por clasificadores nacionales. Con los datos obtenidos se estimaron los valores de heredabilidad, repetibilidad y correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales de las características incluidas en los índices. Para este fin se utilizó la metodología Modelo Animal-BLUP, primero con el análisis individual de cada característica y posteriormente con modelo multicaracter. La base de las ponderaciones económicas fue el sistema de precios de pago al productor indicado en la Resolución 000012 del 2007, emitida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Como resultado del análisis conjunto de la información genotípica, fenotípica y económica, se construyó un índice con la siguiente expresión matemática: $I = ((33,2946042 \times (PL - \mu PL)) + (1,189941052 \times (G - \mu G)) + (8,868006906 \times (P - \mu P)))$. El índice construido sin considerar ponderaciones económicas, adoptó la siguiente forma: $I = ((0,0000717253229 \times (PL - \mu PL)) + (0,176940672 \times (G - \mu G)) + (1,03870017 \times (P - \mu P)) + (0,3082605308 \times (LIS - \mu LIS)) + (0,1488063608 \times (ANDEP - \mu ANDEP)) + (0,33519556 \times (ANPEC - \mu ANPEC)))$. Teniendo en cuenta que estos índices se construyeron acorde con las condiciones productivas y ambientales, propias del Trópico Alto de Nariño, se recomienda el uso de cualquiera de los dos como herramienta de selección en esta región colombiana, dependiendo de los objetivos que tenga cada productor.

Palabras clave: Trópico alto de Nariño, holstein, índices de selección.

¹Zootecnista. Universidad de Nariño, Departamento Producción y Procesamiento Animal, Facultad de Ciencias Pecuarias.

²Zootecnista. M.Sc. Dr.Sc. Coordinador del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Nariño.

³Licenciado en Matemáticas. M.Sc. Departamento de Matemáticas. Universidad de Nariño.

Grupo de Investigación en Producción y Sanidad Animal. Programa de Zootecnia. Universidad de Nariño, A.A. 1175, Pasto, Colombia. E-mail: mafebeza@gmail.com

ABSTRACT

This study was carried out in the high tropic of Nariño, southwestern of Colombia, in order to construct selection indices for easy application in holstein cattle of this region. Two indices were constructed: the first index with economic weights including the traits of milk yield production (PL), fat (G), and protein (P); and the second index with phenotypic standard deviations of the traits mentioned above, adding the characteristics of type, median suspensory ligament (LIS), foot angle (NAESP) and chest width (ANPEC), given their functional importance in this region. The information was collected in 296 herds, located in the dairy districts of Pasto, Pupiales and Guachucal, which included 50, 133 and 113 farms respectively. Data of milk yield, fat and protein were adjusted to 305 days and mature equivalent. A total of 2372 lactations were evaluated, with an average of 1.98 lactations per animal. The linear evaluation was performed once for national classifiers. The collected data allowed to estimate the values of heritability, repeatability and genetic, phenotypic and environmental correlations of the traits included in the index. For this purpose we used the methodology Animal Model-BLUP, first with the individual analysis of each trait and then with a multitrait model. The basis of economic weights was the system of payment to the producer prices indicated in the Resolution 000012 of 2007, issued by the Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. The result of joint analysis of genotypic information, phenotypic and economic was an index with the following mathematical expression: $I = ((0,0000717253229 \times (PL - \mu PL)) + (0,176940672 \times (G - \mu G)) + (1,03870017 \times (P - \mu P)) + (0,3082605308 \times (LIS - \mu LIS)) + (0,1488063608 \times (ANDEP - \mu ANDEP)) + (0,33519556 \times (ANPEC - \mu ANPEC)))$. Because these indices were constructed according to the productive and environmental conditions of the high tropic of Nariño, the use of any of them is recommended as a tool for the selection procedures in this Colombian region, depending on the objectives proposed by each producer.

Key words: High tropic of Nariño, holstein, selection index.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche bovina es una de las actividades económicas de mayor importancia en el Departamento de Nariño. Los municipios con mayor inventario ganadero y mayor producción son: Pasto, Guachucal, Cumbal, Pupiales e Ipiiales. En este departamento se producen 815.000 litros/día, con un promedio de 6,9 litros/vaca/día, cifra superior a la media nacional, que es de 4,5 litros/vaca/día, e inferior a la media de departamentos como Cundinamarca, Antioquia y Risaralda (Viloria de la Hoz, 2007).

La raza más utilizada para producción especializada de leche en el Trópico Alto de Nariño es la holstein, que se caracteriza por su alto potencial genético para producir grandes volúmenes de leche y por su grado de adaptación en la zona, puesto que su introducción comenzó en 1908 (Programa de Mejoramiento Genético Universidad de Nariño, 2009). Se puede asegurar que, desde esa época, los ganaderos han tenido como objetivo primordial incrementar el volumen de leche, dejando de lado otras características no menos importantes, como los porcentajes de grasa y proteína, al igual que las características de conformación anatómica más recomendables para la región.

Sin embargo, este modelo productivo debe replantearse, teniendo en cuenta que en la actualidad los cambios en el mercado, donde se exige leche con mayores porcentajes de grasa y proteína y menores contenidos de unidades formadoras de colonias. Igualmente, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia estableció un sistema de pago al productor, en el que se ofrecen bonificaciones y en general un mayor precio por la leche de mejor calidad composicional.

Frente a esta situación, es necesario proponer diversas estrategias que tengan como fin alcanzar los niveles de competitividad exigidos por las nuevas condiciones de los mercados, donde el mejoramiento genético puede convertirse en una valiosa herramienta, para lograr mayor desarrollo tecnológico; tal como sucede en diversos países, especialmente de Europa y Norte América.

Según Montaldo y Barria (1998), en el mejoramiento genético animal se tienen en cuenta principios biológicos, económicos y matemáticos, con el objetivo de aprovechar de forma óptima la variación genética existente en una población de animales y así maximizar su mérito, en función de los objetivos de producción que se establezcan.

Según San Primitivo Tirados (2001), el mejoramiento genético animal es uno de los pilares básicos de la producción animal, puesto que cada vez es más evidente la necesidad de proveer proteína de origen animal a una población en continuo crecimiento; lo que no sería posible con las poblaciones de animales y condiciones de crianza utilizadas en el siglo XX, época donde se reconoció la genética como una ciencia y desde entonces, quedó establecida la existencia de genes con efecto aditivo que controlan la heredabilidad de ciertas características. Este principio fundamental permitió el desarrollo de la metodología aplicada, aún en la actualidad para la construcción de los índices de selección.

La rápida evolución que ha experimentado la genética en las dos últimas décadas, se evidencia en el uso de técnicas moleculares, que complementan los procesos de evaluación genética. En este sentido, Cantet *et al.* (2008) sustentan que la selección genómica es la herramienta de mayor impacto sobre la eficiencia de la selección animal que el mejoramiento genético ha producido, luego de muchos años de investigación. Particularmente, en los bovinos productores de leche, la selección genómica ofrece grandes ventajas, especialmente por la disminución del intervalo generacional y la ganancia en la exactitud de las evaluaciones. Sin embargo, los mismos autores sostienen que aún subsisten interrogantes en cuanto a la modelación de la varianza aditiva, cuando se estima el valor de cría genómico y en la eficacia en la respuesta a la selección en el largo plazo. Pese a estas interrogantes, las posibilidades que abre la selección genómica, sin lugar a dudas impactarán de modo notorio sobre los procesos selectivos en los próximos años.

Sin desconocer el impacto que tiene en la actualidad la selección genómica, es necesario tener en cuenta que las condiciones socioeconómicas y productivas de muchos países, incluido Colombia, ameritan la utilización de los métodos convencionales de selección, como condición previa a las evaluaciones genómicas.

Con los métodos tradicionales, en el ganado lechero, la selección se basó en una sola característica, pero con el paso del tiempo se estableció la necesidad de seleccionar simultáneamente más de un rasgo, método empleado de modo intensivo en especies como las aves y los porcinos, principalmente.

En las mencionadas especies y en otras de interés zootécnico, la selección simultánea multica-racter se ha realizado con los métodos conocidos como niveles independientes de descarte (NID) y los índices de selección (IS).

La selección simultánea por NID, de acuerdo con Restrepo *et al.* (2008), consiste en establecer unos niveles mínimos de aceptación para cada una de las características, seleccionándose únicamente los animales que los sobrepasan. Es decir, que la superioridad en un carácter no tiene oportunidad de compensar la falta de mérito en otro, hecho que constituye su principal desventaja. En cambio, cuando se construyen índices de selección se considera toda la información disponible, en lo fenotípico, genotípico y económico, de tal manera que la falta de mérito en un rasgo se equilibra por la superioridad en otro, permitiendo al final obtener un solo valor, denominado genotipo agregado.

Los índices utilizados en los programas de mejoramiento por selección fueron definidos por Smith (1936), como una combinación lineal de los valores fenotípicos de los caracteres de interés y se desarrollaron inicialmente para la selección multica-racter en plantas. Según Hazel (1943), el índice de selección mide el mérito neto de mejoramiento de las unidades de selección, en la especie que se utilice. En resumen, un índice de selección mide la ganancia económica por efecto de la utilización de los animales escogidos como reproductores. Para Falconer (1981), el índice de selección es el mejor predictor lineal del valor de mejoramiento por unidad de selección y toma la forma de la regresión múltiple del valor de mejoramiento, sobre todas las fuentes de información.

En la presente investigación se presentan los índices desarrollados con datos económicos, fenotípicos, genotípicos y ambientales propios de la región del Trópico Alto de Nariño, Colombia, para una fácil aplicación por parte de los ganaderos de esta zona y que por esas condiciones, podrían constituirse en una valiosa herramienta para dirigir los apareamientos de los bovinos lecheros, en procura de alcanzar un progreso genético concordante con la realidad productiva y las nuevas exigencias del mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y evaluación de modelos

La información fenotípica utilizada para estimar los parámetros genéticos requeridos en la construcción de los índices de selección, se obtuvo en el programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Nariño,

en 296 hatos, localizados en los distritos lecheros de Pasto, Guachucal y Pupiales; donde se estudiaron 50, 133 y 113 fincas respectivamente (Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica de los distritos lecheros del Trópico Alto de Nariño. (Grupo de Investigación Producción y Sanidad Animal. Línea de Genética y Mejoramiento Animal. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia. 2009).

La región pertenece a la zona de vida bosque húmedo montano (bh – M) y páramo sub – andino

(p – SA), caracterizada por la presencia de pastos naturales y bosque secundario (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas y características climáticas principales de los tres distritos lecheros del departamento de Nariño, Colombia.

Distrito	Coordenadas	Altitud (msnm)	Precipitación		Temperatura (° C)	Brillo (horas)
			Media (mm/año)	Pluviosidad (mm/año)		
Pasto	1°, 12', 41'' Latitud Norte 77°, 16', 52'' Longitud Oeste	2527	960	771.6	13	1142.5
Pupiales	0°, 52', 21'' Latitud Norte 77°, 38', 34'' Longitud Oeste	2900	960	853.3	11.03	1516.8
Guachucal	0°, 57', 50'' Latitud Norte 77°, 44', 04'' Longitud Oeste	3087	940	959.0	10.8	1309.2

Grupo de Investigación Producción y Sanidad Animal. Línea de Genética y Mejoramiento Animal. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia. 2009.

Las características incluidas en los índices fueron: producción de leche (PL), grasa (G), proteína (P), ligamento suspensorio medio (LIS), ángulo de la pezuña (ANDEP) y ancho del pecho (ANPEC). Los datos de producción de leche fueron ajustados a 305 días y equivalente adulto, utilizando los factores obtenidos por Cerón *et al.* (2003). Sólo se extendieron lactancias por encima de 150 días y se excluyeron de los análisis los animales sin primer registro de lactancia. La información utilizada correspondió a las lactancias completas desde el año 1999 hasta abril de 2009. Los registros de producción de grasa y proteína en kilogramos, fueron previamente ajustados a 305 días y equivalente adulto, utilizando los factores indicados por Schutz (2004). Los puntajes de las características de tipo fueron adjudicados a cada animal por parte de expertos clasificadores nacionales.

Los contenidos de proteína y grasa fueron determinados con los métodos Kjeldahl y Gerber, respectivamente, en los laboratorios de la Cooperativa de Productos lácteos de Nariño (COLACTEOS), realizando mensualmente análisis individuales para cada vaca a lo largo de la lactancia.

Análisis Estadístico

Para el análisis de la información y la estimación de los parámetros requeridos en la construcción de los índices, en primer lugar, se construyó un archivo maestro de pedigrí, donde se identificaron con sus respectivos códigos los animales, padres y madres. La depuración de las bases de datos se realizó mediante los programas Microsoft Excel 5.0 y SAS versión 9.1.3.

El cálculo de heredabilidad, repetibilidad y correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales, entre las características evaluadas, fueron realizados con los programas MTDFREML (Boldman *et al.*, 1995) y DFREML (Meyer, 1989). Para el caso de las correlaciones, fue utilizada la información de 2372 lactancias, con un promedio de 1,98 lactancias por animal. Se incluyeron únicamente los animales con información para todas las características incluidas en el índice.

El modelo para la estimación de las varianzas y covarianzas, correspondió al caso donde los efectos fijos y aleatorios son diferentes y que de acuerdo con los principios teóricos de Henderson (1984), adopta la siguiente estructura.

$$Y_1 + X_1 b_1 + Z_1 a_1 + e_1$$

$$y_2 + X_2 b_2 + Z_2 a_2 + e_2$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Donde:

Y_i = vector de observaciones para la característica i

b_i = vector de efectos fijos para la característica i

a_i = vector de efectos aleatorios del animal para la característica i

e_i = vector de efectos residuales aleatorios para la característica i

X_i, Z_i = son las matrices incidentes que relacionan a los registros de la característica i con los efectos fijos y aleatorios del animal respectivamente.

El subíndice i corresponde al número de la variable analizada, que en este caso, se representa con 1 y 2, pero que para el presente trabajo, se incluyeron simultáneamente seis variables en los análisis.

$$\text{var} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} A & g_{12} A & 0 & 0 \\ g_{21} A & g_{22} A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones del modelo mixto, tuvo la siguiente estructura.

$$\begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1' R^{11} X_1 & X_1' R^{12} X_2 & X_1' R^{11} Z_1 & X_1' R^{12} Z_2 \\ X_2' R^{12} X_1 & X_2' R^{22} X_2 & X_2' R^{21} Z_1 & X_2' R^{22} Z_2 \\ Z_1' R^{11} X_1 & Z_1' R^{12} X_2 & Z_1' R^{11} Z_1 + A^{-1}g^{11} & X_1' R^{12} Z_2 + A^{-1}g^{12} \\ Z_2' R^{21} X_1 & Z_2' R^{22} X_2 & Z_2' R^{21} Z_1 + A^{-1}g^{21} & X_2' R^{22} Z_2 + A^{-1}g^{22} \end{bmatrix}$$

Para la característica de producción de leche, los efectos fijos fueron hato, año, época (HAE) y número de lactancia, los efectos aleatorios fueron animal, efecto ambiental permanente (EAP) y efecto ambiental temporal (EAT). En el caso de las características de contenido de grasa y proteína, los efectos fijos fueron hato, año, época y número de lactancia y los aleatorios, animal y efecto ambiental temporal. Por otro lado, para las características de tipo los efectos fijos usados fueron hato, año, clasificador (HAE), número de lactancia y edad a clasificación y los efectos aleatorios animal y efecto ambiental temporal.

Construcción de índices

Para la construcción de los índices de selección, se eligieron las características identificadas como limitantes del proceso productivo en el Trópico Alto de Nariño, teniendo en cuenta las evaluaciones realizadas en el programa de mejoramiento genético de la Universidad de Nariño. Para el índice con genotipo agregado, se consideraron las características de producción de leche (PL), contenido de grasa (G) y proteína (P). En el caso del índice con desvíos estándar, se incluyeron además de las características ya mencionadas, LIS, ANDEP y ANPEC.

$$\begin{bmatrix} \sigma_p^2(Y_1) & Cov P(Y_1, Y_2) \dots Cov P(Y_1, Y_n) \\ Cov P(Y_2, Y_1) & \sigma_p^2(Y_2) \dots Cov P(Y_2, Y_n) \\ Cov P(Y_n, Y_1) & Cov P(Y_n, Y_2) \dots \sigma_p^2(Y_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_g^2(Y_1) & Cov G(Y_1, Y_2) \dots Cov G(Y_1, Y_n) \\ Cov G(Y_2, Y_1) & \sigma_g^2(Y_2) \dots Cov G(Y_2, Y_n) \\ Cov G(Y_n, Y_1) & Cov G(Y_n, Y_2) \dots \sigma_g^2(Y_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_n \end{bmatrix}$$

Donde:

Y_1, Y_2, Y_n : Características a seleccionar

$\sigma_p^2(Y_1), \sigma_p^2(Y_2), \sigma_p^2(Y_n)$: Varianza fenotípica para las características a seleccionar

$\sigma_g^2(Y_1), \sigma_g^2(Y_2), \sigma_g^2(Y_n)$: Varianza genética aditiva para las $cA = \pi r^2$ características a seleccionar

$CovP(Y_i, Y_j)$: Covarianza fenotípica entre las características a seleccionar

$CovG(Y_i, Y_j)$: Covarianza genética aditiva entre las características a seleccionar

a_1, a_2, a_n : Importancia relativa de las características a seleccionar

b_1, b_2, b_n : Coeficiente de regresión para las características a seleccionar

A partir del sistema de ecuaciones anterior se obtuvieron los estimados para b_1, b_2 y b_n , considerando que:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_p^2(Y_1) & Cov P(Y_1, Y_2) \dots Cov P(Y_1, Y_n) \\ Cov P(Y_2, Y_1) & \sigma_p^2(Y_2) \dots Cov P(Y_2, Y_n) \\ Cov P(Y_n, Y_1) & Cov P(Y_n, Y_2) \dots \sigma_p^2(Y_n) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_g^2(Y_1) & Cov G(Y_1, Y_2) \dots Cov G(Y_1, Y_n) \\ Cov G(Y_2, Y_1) & \sigma_g^2(Y_2) \dots Cov G(Y_2, Y_n) \\ Cov G(Y_n, Y_1) & Cov G(Y_n, Y_2) \dots \sigma_g^2(Y_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_n \end{bmatrix}$$

Siendo esto $b = P^{-1} Ga$

Para la construcción de índice con genotipo agregado las matrices se construyeron así:

P^{-1} : Matriz inversa de varianzas y covarianzas fenotípicas de 3x3

G : Matriz de varianzas y covarianzas genéticas de 3x3

a : Matriz de valores económicos relativos de 3x1

b : Coeficientes de regresión múltiple a conocer de 3x1

Para el índice con desvíos estándar las matrices fueron construidas de la siguiente manera:

P^{-1} : Matriz inversa de varianzas y covarianzas fenotípicas de 6x6

G : Matriz de varianzas y covarianzas genéticas de 6x6

a : Matriz de desvíos estándar de la varianza fenotípica de cada característica de 6x1

En el análisis conjunto de las características, se utilizaron los procedimientos indicados por Hazel (1943), Falconer y Mackay (1996) y VanRaden *et al.* (2006), que se basan en lo siguiente.

En el índice se utilizaron los componentes de varianza y covarianza genéticos aditivos y fenotípicos; con los cuales se construyen las matrices de varianza y covarianza fenotípica y genética y los vectores de regresión y ponderaciones económicas relativas para cada carácter, como se muestra a continuación.

b : Coeficientes de regresión múltiple a conocer de 6x1

Resultando para los dos casos un índice de la forma:

$$I = b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + \dots + b_n Y_n$$

Donde:

I : Índice de selección

b_n : Coeficiente de regresión múltiple para cada característica que indica cuánto cambia el mérito neto o agregado total para varias características cuando la característica Y_n cambia en una unidad, estando la otra característica a un nivel constante.

Y_n : El valor fenotípico de la característica n expresado como una desviación de su media ($Y_n - Y$).

Una vez construidos y resueltos los sistemas de ecuaciones antes descritos se procedió a estimar el mérito genético de cada individuo, totalizado en el valor del índice.

Ponderaciones económicas relativas

$$\Delta H_{IND} = \sqrt{nah^2 Ib\sigma}$$

Para la construcción del índice con genotipo agregado, las ponderaciones económicas se establecieron considerando lo señalado en la Resolución 000012 de Enero del 2007 con sus correspondientes actualizaciones emitidas en el año 2011 (MADR, 2007).

En el índice con desvíos estándar, donde se sustituye la ponderación económica, la metodología utilizada fue la propuesta por Falconer y Makay (1996), quienes recomiendan asignar como peso relativo de cada carácter los recíprocos de la desviación estándar fenotípica.

Progreso genético

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

Donde:

- $b = Z/p$
- ΔH_{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^2 : Heredabilidad de la característica
- Ib : Intensidad de selección para el índice.
- p : Fracción de los descendientes que se necesitan como reemplazos.
- σ : Desviación fenotípica de la característica.

El valor de Ib fue hallado a través de tablas para intensidad de selección de Cardellino y Rovira (1987), conociendo p .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 2 y 3, se indican los componentes de varianzas y covarianzas fenotípicas y genéticas para las diferentes características y en la Tabla 4, se indi-

can las ponderaciones económicas para las características de producción de leche, grasa y proteína.

Tabla 2. Componentes de varianzas fenotípicas y genéticas.

Varianzas	Leche	Grasa	Proteína	ANPEC	ANDEP	LIS
σ_a^2	427116,8	0,02	0,0010	0,69	0,17	1,09
σ_p^2	2067890,7	0,14	0,0072	2,11	1,75	2,82

Tabla 3. Componentes de covarianzas fenotípicas y genéticas.

Características	Leche	Grasa	Proteína	ANPEC	ANDEP	LIS
Leche	1	441,61	104,68	120,07	5637,94	41,70
Grasa	-24,99	1	0,02	0,08	0,03	0,08
Proteína	-6,7	0,0024	1	0,006	0,004	0,01
ANPEC	61,71	0,004	0,001	1	0,13	0,17
ANDEP	16,07	0,002	0,0008	0,12	1	0,21
LIS	119,60	0,01	0,002	0,15	0,04	1

Tabla 4. Ponderaciones económicas para Producción de leche, grasa y proteína.

Precio competitivo de 1 litro de leche cruda		
Periodo de febrero a julio de 2011		
Concepto	Proteína	Grasa
Fraciones de decimas (%)	3,10	3,55
Gramos	31,99	36,64
Bonificaciones por cada gramo adicional (\$)	17,83	5,94
Descuento por cada gramo faltante (\$)	8,92	2,97

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución No 000012 de 2007.
Última actualización 2011.

En la Tabla 5 se encuentran las ponderaciones correspondientes a las desviaciones estándar fenotípicas.

Tabla 5. Ponderaciones correspondientes a las desviaciones estándar fenotípicas.

Característica	σ_p
Leche	0,000695
Grasa	2,6726
Proteína	11,785
ANPEC	0,595
ANDEP	0,7559
LIS	0,6884

En las Tablas 6 y 7 se muestra el ranking de animales con los más altos índices de genotipo agregado y con desvíos estándar, respectivamente.

Tabla 6. Ranking de animales por índices de selección con genotipo agregado.

ANL	Distrito	Finca	Índice
9698	Pasto	San Jose	155140,22
4410	Guachucal	Tertez	138993,16
7402	Guachucal	San Javier	135329,40
14876	Guachucal	Santana	131870,08
22104	Guachucal	Chaitan	123111,06
25636	Guachucal	Menphis	122381,32
12080	Pasto	Loma Linda	109060,93
6302	Pasto	San Jose	103767,50
30836	Guachucal	Gualcala	95712,64
20244	Pasto	Kurikingas	94842,87

Tabla 7. Ranking de animales por índices de selección con desvíos estándar.

ANL	Distrito	Finca	Índice
21348	Pasto	Kurikingas	1,479084677
26048	Pasto	Arrayanes	1,365541361
24624	Pupiales	Las Lajas	1,171963013
4410	Guachucal	Tertez	1,103192556
24948	Guachucal	San Javier	1,013369357
3806	Guachucal	San Javier	0,890850193
4542	Pasto	San Jose	0,877498697
12464	Pasto	Praga	0,721278555
22248	Pupiales	El Ensueño	0,719386411
27780	Pupiales	El Ensueño	0,695736078

La forma que adopta el índice con genotipo agregado para la selección bajo las condiciones del Trópico Alto de Nariño es la siguiente:

$$I = ((33,2946042(PL - \mu PL)) + (1,189941052(G - \mu G)) + (8,868006906(P - \mu P)))$$

Las cifras indicadas en la ecuación corresponden a los valores que deben utilizarse para ponderar la importancia de la leche, grasa y proteína respectivamente, con el fin de estimar el genotipo agregado de cada animal, bajo las condiciones del Trópico Alto de Nariño. Al sustituir el desempeño de cada ejemplar, expresado como desvío de la media y multiplicarlo por los valores de ponderación obtenidos en este trabajo, es posible ordenar los animales por su mérito genético total para las tres características en conjunto.

En cuanto al índice, utilizando desvíos estándar, bajo las condiciones del Trópico Alto de Nariño, la ecuación adoptó la siguiente forma:

$$I = ((0,0000717253229(PL-\mu PL)) + (0,176940672(G-\mu G)) + (1,03870017(P-\mu P)) + (0,3082605308(LIS-\mu LIS)) + (0,1488063608(ANDEP-\mu ANDEP)) + (0,33519556(ANPEC-\mu ANPEC)))$$

Al igual que en el caso anterior, el ordenamiento de los animales por su mérito total, expresado como desvíos estándar de cada rasgo, basta con multiplicar los valores de las incógnitas por el desempeño fenotípico en cada característica.

La estimación del progreso genético esperado por generación, utilizando los índices propuestos y con una intensidad de selección de 1% para machos y 40% para hembras, indican que por efecto de selección, en promedio, la primera generación seleccionada utilizando el índice con genotipo agregado, tendría un rendimiento promedio por encima de la media de la población de 1217,1 kg de leche, 1,48% de grasa y un 1,11% de proteína. En el caso de la selección por índice con desvíos estándar el progre-

so esperado por generación sería de 1,62 desvíos estándar sobre el promedio de la población, para la característica de producción de leche, 1,89 desvíos para grasa, 1,28 para proteína, 2,06 para LIS, 1,04 para ANDEP y 1,89 desvíos sobre el promedio de la población para ANPEC. Con respecto de lo anterior, el progreso genético esperado para la característica de producción de leche ajustada a 305 días, es mayor al reportado por Atil (2006); sin embargo, se debe señalar que dichos estudios se llevaron a cabo en condiciones ambientales diferentes y con ponderaciones económicas distintas.

El mismo autor afirma que, existen mínimas diferencias entre el índice con genotipo agregado y el índice con desvíos estándar, siendo este último más simple y fácil de construir. Similares resultados fueron obtenidos por Khattab, Sultan (1991) y Atil *et al.* (2005), trabajando con vacas Friesian en Egipto y Turquía respectivamente. Además, debe considerarse que en el índice con desvíos estándar es posible incluir tanto características de producción como las de conformación anatómica, sin el riesgo de incurrir en asignaciones económicas subjetivas a las ponderaciones de cada rasgo incluido en el índice.

CONCLUSIONES

Los animales con los mayores valores totalizados en el índice, mostraron superioridad con los dos índices construidos en la presente investigación.

Los índices construidos para el Trópico Alto de Nariño son de fácil aplicación en los hatos donde se disponga de un cuidadoso sistema de registros.

Es necesario re-calcular los parámetros gené-

uticos, al menos cada cinco años y revisar permanentemente las ponderaciones económicas para la construcción de índices en esta región de Colombia.

Es necesario ampliar la labor investigativa en los bovinos para leche del Trópico Alto de Nariño, especialmente en la construcción de índices que combinen información fenotípica y genómica.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación Producción y Sanidad Animal, Línea Genética y Mejoramiento Animal de la Universidad de Nariño, Meg@lac. La Cooperativa de Productos Lácteos de Nariño – COLACTEOS y los ganaderos asociados. Directivos y funcionarios del Programa de Zootecnia de la

Universidad de Nariño. Docentes Fernando Soto, Ernesto Viteri, Efrén Insuasty de la Universidad de Nariño, Nariño - Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a todos los funcionarios de esta entidad estatal, Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atil, H. 2006. A Comparison of different selection indices for genetic improvement for milk traits in holstein friesian cattle in Turkey by using one standard deviation as relative economic weight. *Journal of Biological Science*. 9(2):285–288.
- Atil, H.; A.S. Khattab and Gevrekci. 2005. A comparison of different selection indices for genetic improvement of some dairy milk traits in holstein friesian cows in Turkey. *J. Applied Anim. Res.* 27:117-120.
- Boldman, K.G.; L.A. Kriese and L.D. Vanveck. 1995. A manual for use of MTDFREML: a set of programs to obtain estimates of variances and covariances. Beltsville: Department of Agriculture, Agricultural Research. 125 p.
- Cantet, R.J.C.; J.L. Gualdrón y S. Munilla. 2008. *Revista Argentina de Producción Animal*. Departamento de Producción Animal. Facultad de Agronomía. UBA. 28(2):133-136.
- Cardellino R. y J. Rovira. 1987. *Mejoramiento genético animal*. Buenos Aires: Hemisferio Sur. 251 p.
- Cerón, M.; Tonhati, H.; Costa, C.; Solarte, C. y Benavides, O. 2003. Factores de ajuste para producción de leche en bovinos holstein colombiano. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*. 16(1):26-32.
- Falconer, D.S. 1981. *Introduction to quantitative genetics*. 2a ed. New York: Longmansgreen. 340 p.
- Falconer, D.S. and Mackay, M.T.C. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4a ed. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd. 469 p.
- Hazel, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 28:476-490.
- Hazel, L.N. and J.L. Lush. 1942. The efficiency of three methods of selection. *J. Heredity*. 33: 393-399.
- Henderson, C.R. 1984. *Aplication of linear models in animal breeding*. Ontario, Canada: University of Guelph Press.
- Henderson, C.R. 1950. Estimation of genetic parameters. *Annals of Mathematical Statistics*. 21:309.
- Henderson, C.R. 1953. Estimation of variance and covariance components. *Biometrics*. 9:226-252.
- Khattab, A.S. and Z.A. Sultan. 1991. A comparison of different selection indices for genetic improvement of some dairy traits in friesian cattle in Egypt. *J. Anim Breed Genet*. 108:349-354.
- Meyer, K. 1989. *DFREML version 3.0 β: Manual user guide*. Armidale, Australia: University of New England. 26 p.
- Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2007. Resolución número 000012 del 2007, “por la cual se establece el sistema de pago de la leche cruda al productor”. 12 de enero.
- Montaldo, V.H.H. y P.N. Barría. 1998. *Mejoramiento genético de animales*. *Ciencia al día*. 2(1):1-19.

Universidad de Nariño: Programa de Mejoramiento Genético. 2006. Resultados de proyecto: Determinación de las frecuencias alélicas del gen Kappa Caseína (k-cs) en la población bovina lechera del trópico alto de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. 23 p.

Universidad de Nariño: Programa de Mejoramiento Genético. 2009. Resultados de proyecto: Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño para conformación de núcleos de selección. San Juan de Pasto, Colombia. 61 p.

Restrepo, G.; E.J. Pizarro y J.H. Quijano. 2008. Índices de selección y niveles independientes de descarte para dos características productivas y reproductivas en un ható holstein (*Bos Taurus*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 21:239-250.

SAS institute. 2009. SAS software version 9.1.3 [online] Doc.

Schutz, M.M. 2004. Age-season standardization for yield traits. Beltsville: Department of Animal Sciences. Animal improvement programs laboratory. ARS-USDA.

Smith, H.F.A. 1936. Discriminant function for plant selection: Papers on quantitative genetics and related topics. Department of Genetics, North Caroline State University.7: 240-250.

Tirados, S.P. 2001. La mejora genética animal en la segunda mitad del siglo XX. Arch. Zoot. 50:517-546.

VanRaden, P.M. 2006. Predicting genetic interactions within and across breeds. Animal improvement programs laboratory. Agricultural research service. 8th World congress on genetic applied to livestock production.

Viloria de la Hoz, J. 2007. Economía del departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico. Cartagena Colombia: Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales (CEER). N° 87.

Yáñez, L.F. 2005. Índices de selección: sugerencias para su utilización. Manual de ganadería doble propósito. Universidad Nacional Experimental Sol del Lago. pp. 106-110.