

# Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México

## Genetic parameters for conformation traits, stayability and milk yield for Holstein dairy cattle in Mexico

Mauricio Valencia Posadas<sup>a</sup>, Hugo Horacio Montaldo Valdenegro<sup>b</sup>, Felipe de Jesús Ruíz López<sup>c</sup>

### RESUMEN

Se utilizaron registros de conformación, producción de leche en la primera lactancia (PL1) y habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48) de vacas Holstein, con el objeto de estimar heredabilidades ( $h^2$ ) así como correlaciones genéticas ( $r_g$ ) y fenotípicas ( $r_f$ ) entre todas las características. Se utilizaron dos archivos, el primero incluyó las características de conformación y HP48 ( $n=3,409$ ), y en el segundo, las características de conformación y PL1 ( $n=7,044$ ). Para la estimación de los componentes de (co)varianza se utilizó el método REML, con diferentes modelos animales. Se estimó la respuesta predicha a la selección usando índices para múltiples características, en donde se incluyó HP48, PL1 y puntos finales (PUFIN). Las  $h^2$  estimadas para las características estudiadas fueron de bajas a moderadas (de 0.001 a 0.34). Las  $r_g$  tuvieron un rango de -0.30 a 0.69 y las más altas y positivas se estimaron entre HP48 con profundidad de ubre y HP48 con aplomos (0.52 y 0.69, respectivamente). Todas las  $r_f$  estimadas en este estudio fueron bajas (de -0.02 a 0.13). Las respuestas por generación, considerando los mayores incrementos para PL1, PUFIN y HP48 fueron de 747 kg (índice 1:0:0), 0.90 puntos (índice 2:1:1) y 0.44 % (índice 1:0:0), respectivamente. La incorporación de algunas características de tipo como criterios de selección relacionadas a tipo y longevidad, como aplomos, ubre, puntos finales y HP48, permitirían mejorar simultáneamente la población Holstein de México para producción, conformación y permanencia en el hato, con el uso de índices de selección.

**PALABRAS CLAVE:** Heredabilidades, Correlaciones genéticas, Ganado lechero, Selección, Índices, Respuesta correlacionada.

### ABSTRACT

Heritabilities ( $h^2$ ) and genetic ( $r_g$ ) and phenotypic ( $r_f$ ) correlations were estimated for eleven primary conformation traits, first lactation milk yield (PL1) and stayability to 48 mo of age (HP48) in Holstein cattle in Mexico. Classification and milk production data were used to build two databases, one containing conformation traits and HP48 data ( $n=3,409$ ), and another containing conformation traits and PL1 data ( $n=7,044$ ). (Co)variance components were estimated with the REML method, using different animal models. Multi-trait indices were applied to estimate predicted responses to selection for HP48, PL1 and final score (PUFIN). The  $h^2$  values for the studied traits were low to moderate (0.001 to 0.34). The  $r_g$  had values ranging from -0.30 to 0.69 with the highest positive values between HP48 and udder depth (0.52), and HP48 and leg set (0.69). All  $r_f$  values estimated in this study were low. The highest response by generation for PL1 was 747 kg (index 1:0:0), that for PUFIN was 0.90 points (index 2:1:1) and that for HP48 was 0.44 % (index 1:0:0). The high genetic correlations observed here between stayability to 48 mo of age and front teat placement, udder depth, final score and leg set, indicate that incorporating some of these traits into first lactation selection indices could help to genetically improve production, conformation and stayability to 48 mo of age in the Holstein dairy cow population of Mexico.

**KEY WORDS:** Heritabilities, Genetic correlations, Dairy cattle, Selection, Index, Correlated response.

Recibido el 29 de septiembre de 2006. Aceptado para su publicación el 8 de enero de 2008.

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato. Km 9 carretera Irapuato-Silao, ExHacienda El Copal, Irapuato, 36500, Guanajuato, México. posadas@dulcinea.ugto.mx. Correspondencia al primer autor.

<sup>b</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>c</sup> Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal. INIFAP-SAGARPA, México.

## INTRODUCCIÓN

Las características de conformación son parte de los criterios o índices de selección recomendados o desarrollados en distintos países que combinan evaluaciones genéticas de características de producción, reproducción, funcionales, longevidad y conformación, con el fin de evaluar el mérito económico total de los animales con fines de selección<sup>(1,2,3)</sup>.

La principal razón para utilizar la información de tipo como criterios de selección es el incremento del tiempo de permanencia en el hato, de manera que el desecho involuntario por causas distintas a producción pueda ser disminuido<sup>(4)</sup>. Lo anterior permite incrementar la producción de leche acumulada de por vida, al tener una mayor producción de vacas en edad madura, y disminuir los costos por reemplazos<sup>(5)</sup>. Las características de conformación evaluadas con mayor frecuencia en ganado lechero, han sido la estatura, fortaleza del lomo, profundidad del cuerpo, anchura y ángulo de cadera, ángulo de patas, inserción anterior de la ubre, altura y anchura de la ubre, colocación de los pezones y puntos finales<sup>(4,6,7)</sup>.

La longevidad en el ganado lechero, es una medida de la capacidad que tienen las vacas para sobrevivir al desecho voluntario e involuntario. El desecho voluntario es provocado parcialmente por baja producción de leche y el desecho involuntario se produce cuando la vaca muere o debe dejar el hato por problemas reproductivos o de salud<sup>(8,9)</sup>. Diferentes variables han sido usadas para estudiar la longevidad en ganado lechero y algunas de las más usadas son: 1) características de vida productiva, como la duración de vida productiva en el hato (diferencia entre la fecha del primer parto y la fecha de desecho o fecha del último registro de producción), medida en meses o días, el número total de lactancias y la producción de leche acumulada a diferentes lactancias, en kilogramos; y 2) habilidades de permanencia hasta cierto número de meses de edad (36, 48, 60, 72, 84 meses), o cierto número de meses después del primer parto (12, 36 u otros meses posteriores)<sup>(9,10,11,12)</sup>. Las características de conformación pueden contribuir

## INTRODUCTION

Conformation (type) traits form part of selection criteria and indices recommended and developed in different countries. These indices combine genetic evaluations from production, reproduction, functional, longevity and conformation traits to evaluate the overall economic merit of animals as a means for selection<sup>(1,2,3)</sup>. The main goal of using conformation data as selection criteria is to increase herd life by decreasing involuntary culling due to non production-related causes<sup>(4)</sup>. These results allow increased cumulative lifetime milk production through higher production in mature cows and reduction of replacement costs<sup>(5)</sup>. The most frequently evaluated conformation traits in dairy cattle are height, rump strength, body depth, width and angle of hip, foot angle, fore udder attachment, udder height and width, teat placement and final score<sup>(4,6,7)</sup>.

Longevity in dairy cattle is a measure of a cow's ability to survive voluntary or involuntary culling. Voluntary culling is influenced partially by low milk production and involuntary culling occurs when a cow dies or must leave the herd due to reproductive or health problems<sup>(8,9)</sup>. Different variables have been used to study longevity in dairy cattle, particularly length of productive life, production and stayability parameters. Length of productive life has been defined as the time between first freshening and culling or last production record expressed in days or months. Frequently used production traits include total number of lactations and cumulative milk yield in different lactations (kg). Stayability is measured in terms of survival at a specific age (typically 36, 48, 60, 72, 84 mo) or at a specific time after first parity (12 or 36 mo)<sup>(9,10,11,12)</sup>. Use of conformation traits can contribute to more precise prediction of the genetic values of longevity traits at an earlier age by incorporating these traits into selection indices<sup>(10,11,13)</sup>.

In 1994, the Mexican Holstein Association (Asociación Holstein de México - AHM) began to implement a continuous linear scale to evaluate conformation traits. Using data from Mexico provided by the AHM, Moro and Ruíz<sup>(14)</sup> estimated

a una predicción más precisa de los valores genéticos de características de longevidad a una edad más temprana en los animales, mediante su incorporación a índices de selección<sup>(10,11,13)</sup>.

En 1994, la Asociación Holstein de México (AHM) comenzó a utilizar una escala lineal continua para evaluar las características de conformación. Utilizando información originada en México por esta Asociación, Moro y Ruíz<sup>(14)</sup> estimaron parámetros genéticos para características de conformación y por su parte Valencia *et al*<sup>(15)</sup> estimaron parámetros genéticos en características de longevidad. Sin embargo, hasta este momento no se han estimado correlaciones genéticas entre las características de conformación, habilidad de permanencia a los 48 meses y la producción de leche. Por otra parte, para efectuar evaluaciones genéticas y poder desarrollar los índices de selección en donde se incluyan varias características, es necesario estimar heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas entre éstas<sup>(10,16)</sup>.

El objetivo de este estudio fue estimar heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas entre características de conformación, habilidad de permanencia a los 48 meses de edad y la producción de leche de la primera lactancia en ganado Holstein en México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los registros de conformación de vacas Holstein generados entre 1994 y 1998 en 10 clasificaciones bianuales, así como los registros de producción de leche de la primera lactancia a equivalente maduro y 305 días de ordeña (PL1), obtenidos por la AHM.

Se estudiaron 11 características primarias de conformación: estatura (ESTAT), profundidad de cuerpo (PROFUN), punta del anca (PUNTA), anchura del anca (ANCHA), ángulo de pezuñas (ANPEZ), aplomos (APLOM), calidad de hueso (CALHUE), inserción de ubre anterior (INSEAN), posición de tetas anteriores (POSTETAN), ligamento medio suspensorio (LMS), profundidad de ubre (PROFUB), incluyendo además puntos

genetic parameters for conformation traits, and Valencia *et al*<sup>(15)</sup> estimated the genetic parameters for longevity traits. However, no genetic correlations have yet been estimated among conformation traits, stayability to 48 mo and milk yield. To generate genetic evaluations and then develop selection indices that include several traits, heritabilities and the genetic and phenotypic correlations among them must be estimated<sup>(10,16)</sup>. The objective of this study was to estimate heritabilities and the genetic and phenotypic correlations between conformation traits, stayability to 48 months and milk yield in first lactation in Holstein cattle in Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

Analyzed data were from Holstein cow's conformation records generated from 1994 to 1998 in ten semiannual classifications, and first lactation milk yield records (305-d mature equivalent) (PL1). All data were provided by the AHM.

Eleven primary conformation traits were analyzed: height (ESTAT); body depth (PROFUN); rump slope (PUNTA); rump width (ANCHA); hoof angle (ANPEZ); leg set (APLOM); bone quality (CALHUE); fore udder attachment (INSEAN); front teat placement (POSTETAN); medial suspensory ligament (LMS); and udder depth (PROFUB). All these traits were quantified along a linear scale from 1 to 9. A twelfth trait, final points (PUFIN), was evaluated along a scale from 60 to 100 points.

For the analysis of conformation traits, age at classification, stage of lactation and herd-classifier effects were included in the model. Classifications for 1994 were performed by a Holstein Association of Canada classifier, those for 1995 by one AHM classifier and those for 1996 to 1998 by two AHM classifiers.

Only records from first classification of cows older than 18 mo at first calving, cows with less than 20 mo in lactation at time of classification were used. Records were excluded with irremediable data errors such as mistakes in date of birth, parity and/or beginning of lactation.

finales (PUFIN), haciendo un total de 12 características. Todas las características fueron evaluadas con una escala lineal del 1 al 9, excepto PUFIN, la cual fue evaluada entre 60 a 100 puntos.

Para el análisis de las variables de conformación, se calculó la edad a la calificación, la ubicación del tercio de lactancia y el hato-calificación. Las calificaciones correspondientes a 1994 fueron realizadas por un calificador de la Asociación Holstein de Canadá, las calificaciones de 1995 fueron hechas por un evaluador mexicano de la AHM y las calificaciones de 1996 a 1998 fueron realizadas por dos evaluadores mexicanos de la AHM.

Sólo se utilizaron registros de vacas con más de 18 meses de edad al primer parto, información de vacas con menos de 20 meses en producción al momento de la clasificación y solamente registros de primera calificación. Se eliminaron los registros con errores irre recuperables de información, tales como errores en fechas de nacimiento, de parto o de inicio de lactancia.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Valencia *et al.*<sup>(15)</sup>, se eligió la habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48) para estimar las covarianzas genéticas con PL1 y las características de tipo de estudio, por las altas correlaciones genéticas y fenotípicas obtenidas entre HP48 con duración de vida productiva a la tercera lactancia (DVP) y con producción de leche acumulada a la tercera lactancia (PTA), las cuales fueron mayores que 0.71, y porque HP48 se puede evaluar más tempranamente que DVP y PTA.

La HP48 se definió como la habilidad de permanencia hasta a los 48 meses de edad, y se asignó un valor de cero cuando la vaca no llegó a los 48 meses de edad, o de uno, si su edad final fue igual o mayor que 48 meses.

Para la edición del archivo que incluyó PL1, se eliminaron los registros de animales que no tuvieron información de una primera lactancia, aquéllos que carecían de información del número de lactancia a la que pertenecía cada registro, los hatos que tuvieron menos de cinco vacas, las vacas con

Stayability at 48 mo of age (HP48) was chosen to estimate genetic covariances with PL1 and the type traits of this study because a previous study (Valencia *et al.*<sup>(15)</sup>) showed high phenotypic and genetic correlations between HP48 and length of productive life to third lactation and cumulated milk production to third lactation (both estimates  $>0.71$ ), and because HP48 can be evaluated at an earlier age than DVP or PTA.

Final edits of the data file included elimination of records of cows without first lactation information, records without lactation number information, records from herds with less than five cows, records with identified as “non usable” (lactation initiated by abortion or records affected by diseases or illness), and cows with milk yield less than 1,500 kg (considered abnormal lactations). Cows with less than 18 mo of age at first freshening were eliminated as well.

Two databases were created for the analysis, each containing 14 variables (12 conformation type traits, PL1 and HP48). Reason to create two files were to increase the number of animals with information of PL1 and conformation, because when the same time of opportunity time was provided for cows to reach 48 mo of age for calculating HP48, the number of animals in the overall sample decreased considerably. In response, the first and last year in production control for each herd was identified. The HP48 data file included cows whose first calving was at least two years before from last year the herd was under production control.

The conformation trait information included in the databases was that available from the AHM at the time of study. One database included conformation traits and HP48 data ( $n=3,409$  cows), and the second file included conformation traits and PL1 data ( $n=7,044$  cows). The average number of sires and herds in the two databases is shown in Table 1.

To represent the effects of season of calving, two seasons were defined: Season 1 (December - May); and Season 2 (June - November). An effect was created by combining the factors herd-year-season

lactancias cuyo código de terminación era no utilizable (lactancias iniciadas con aborto, venta, muerte, enfermedades o lesiones) y vacas con producciones por lactancia menores de 1,500 kg de leche (al considerarlas lactancias anormales). Se eliminaron también las vacas que tuvieron menos de 18 meses de edad al primer parto.

Se crearon dos archivos de datos para efectuar los análisis, incluyendo cada uno 14 variables, 12 de tipo, PL1 y HP48. La razón de crear dos archivos fue para incrementar el número de animales con información de PL1 y conformación, ya que al dar el mismo tiempo de oportunidad a las vacas para llegar a los 48 meses de edad al calcular HP48, el número de animales se redujo considerablemente. Para ello, se identificó el año de inicio y el año final que estuvo cada hato en control de producción. Para la edición del archivo con HP48, se mantuvieron a las vacas cuyo primer parto fue al menos dos años antes del último año que estuvo el hato en control de producción.

Se utilizó toda la información de tipo que tenía disponible la Asociación Holstein en ese momento, de tal forma que en un primer archivo se incluyeron las características de conformación y HP48, con 3,409 vacas, y en un segundo archivo se incluyeron las características de conformación y PL1, con 7,044 vacas.

En el Cuadro 1 se muestra el promedio de número de toros y hatos en las dos bases de datos utilizadas.

Cuadro 1. Número de toros, hijas y niveles de algunos factores

Table 1. Number of sires and herds in the two databases

	Database: HP48 + conformation traits (n=3,409)	Database: PL1 + conformation traits (n=7,044)
Number of sires	655	1073
Number of herds	50	72

of first calving. A common pedigree file containing 11,975 records, including all available ancestors, was used to estimate the variance components of the two databases.

The databases and the pedigree files were created using programs in the FORTRAN language and the Statistical Analysis System program<sup>(17)</sup>. Estimation of variance components was done with the restricted maximum likelihood (REML) method using a derivative-free procedure with the MTDFREML program<sup>(18)</sup>. REML estimators for conformation traits are robust even when data do not fit a normal or normal multivariate distribution<sup>(19,20)</sup>.

Univariate animal models were used to estimate heritabilities (Table 2). Fixed effects differed depending on the analyzed response variable. According to Henderson<sup>(21)</sup>, the model using matrix notation was:

Cuadro 2. Efectos fijos incluidos en los modelos para estimar heredabilidades y correlaciones genéticas en las características estudiadas

Table 2. Fixed effects included in models for estimation of heritabilities and genetic correlations using the studied traits

Model	Trait	Fixed effects
1	All conformation traits	Lactation, third, herd-round, classifier and age at classification (as linear and quadratic covariables)
2	305-day mature equivalent milk production at first lactation (PL1)	Herd-year-season of first parity
3	Stayability to 48 months of age (HP48)	Herd-year-season of first parity, and milk yield corrected for age-month of birth and 305-day mature equivalent milk production at first lactation (PL1) as covariable

Para representar los efectos de época, se definieron dos estaciones de parto: de diciembre a mayo (estación 1), y de junio a noviembre (estación 2). Se creó un efecto combinando los factores hato-año-estación de primer parto. El archivo de pedigrí usado para estimar los componentes de varianza de los dos archivos fue común y tuvo 11,975 registros, el cual incluyó a todos los ancestros disponibles.

Las bases de datos y el archivo de pedigrí se crearon utilizando programas en lenguaje Fortran y el Sistema de Análisis Estadístico<sup>(17)</sup>. La estimación de los componentes de varianza se hizo con el método de máxima verosimilitud restringida (REML) usando el procedimiento libre de derivadas con el programa MTDFREML<sup>(18)</sup>.

Algunos autores han señalado que la estimación de parámetros genéticos de rasgos de conformación con REML es robusta aún en datos que no se ajustan a una distribución normal o normal multivariada<sup>(19,20)</sup>.

Se utilizaron modelos animales univariados (Cuadro 2) para estimar las heredabilidades. Los efectos fijos fueron distintos dependiendo de la variable de respuesta analizada.

El modelo usado en notación matricial, de acuerdo a la metodología descrita por Henderson<sup>(21)</sup>, fue:

$$y = Xb + Zu + e,$$

Donde:  $y$ =vector ( $nx1$ ) de observaciones,  $X$ =matriz de incidencia ( $nxp$ ) de efectos fijos, donde se incluyó hato-año-estación y la producción de leche real de la primera lactancia,  $b$ =vector ( $px1$ ) de efectos fijos,  $Z$ =matriz incidencia ( $nxq$ ) de efectos aleatorios, donde se incluyó el animal,  $u$ =vector ( $qx1$ ) de efectos aleatorios,  $e$ =vector ( $nx1$ ) aleatorio (error). Al efectuar los análisis, se supuso que los elementos de 'u' y 'e' se distribuyeron normalmente y que no estaban correlacionados.

Las correlaciones genéticas se obtuvieron con análisis bivariados entre las características, utilizando el mismo programa y el siguiente modelo:

$$y = Xb + Zu + e,$$

Where:  $y$ =observation vector ( $nx1$ );  $X$ =fixed effects incidence matrix ( $nxp$ ), including herd-year-season and real milk yield at first lactation;  $b$ =fixed effects vector ( $px1$ );  $Z$ =random effects incidence matrix ( $nxq$ ), including animal;  $u$ =random effects vector ( $qx1$ ),  $e$ =random (error) vector ( $nx1$ ). For the analysis, it was assumed that the  $u$  and  $e$  elements were normally distributed and not correlated.

The genetic correlations were obtained with bivariate analyses between traits using the same program and the following model:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Where subindices 1 and 2 identify the trait to be evaluated, and the other model terms are those previously described. The bivariate analysis used the same fixed effects included in the univariate models of each trait.

Convergence was reached when the -2 likelihood logarithm (L) was less than or equal to  $10^{-6}$ . It was assumed that the global maximum had been reached when the same results were produced in at least three restarts with different initial values<sup>(18)</sup>. Phenotypic correlations were estimated with the Statistical Analysis System program<sup>(17)</sup>.

The predicted response to selection using multiple trait indices was estimated using the parameters obtained in this study and some estimates made by Valencia *et al.*<sup>(15)</sup>. The index included a production trait, a conformation variable and a longevity trait. The production trait was PL1, currently the most economically important variable in Mexico. The conformation trait was PUFIN, which provides a general evaluation of animal conformation. For longevity, HP48 was used because it can be measured early in animal life and because has a high correlation (0.94) with length of productive life to third lactation in Holstein cattle in Mexico<sup>(15)</sup>. The parameters used to estimate response to selection are shown in Table 3. The

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Donde los subíndices 1 y 2 identifican la característica a evaluar y con los otros términos del modelo como fueron descritos anteriormente. En los análisis bivariados se utilizaron los mismos efectos fijos incluidos en los modelos univariados de cada característica.

La convergencia fue obtenida cuando el  $-2$  logaritmo de verosimilitud (L) fue menor o igual  $10^{-6}$ . Cuando se obtuvieron los mismos resultados en al menos tres reinicios con diferentes valores iniciales, se supuso que el máximo global fue encontrado<sup>(18)</sup>. Las correlaciones fenotípicas se estimaron con el Sistema de Análisis Estadístico<sup>(17)</sup>.

Utilizando los parámetros obtenidos en este estudio y algunos estimados por Valencia *et al*<sup>(15)</sup>, se estimó la respuesta predicha a la selección usando índices para múltiples características. En el índice se decidió incluir tres variables, una variable de producción, una de conformación y una de longevidad. Las variables fueron PL1, PUFIN y HP48. Se incluyó PL1 porque actualmente en México es la característica de mayor importancia económica; PUFIN porque da una valoración general de la conformación del animal y HP48 porque puede ser medida tempranamente en los animales y por la alta correlación obtenida con la duración de vida productiva a tercera lactancia en ganado Holstein en México, cuyo valor fue de 0.94<sup>(15)</sup>. Los parámetros utilizados para estimar las respuestas a la selección se presentan en el Cuadro 3. El objetivo fue identificar las mayores respuestas genéticas para las tres características incluidas, cambiando el énfasis relativo de cada una, dado que no se contaba con datos precisos de pesos económicos relativos de ellas.

En los Estados Unidos, algunos estudios se han realizado con el objeto de obtener las mayores respuestas, donde se han incluido características de producción, puntos finales de tipo, ubre, patas y pezuñas, longevidad, tamaño y el conteo de células somáticas<sup>(3,7)</sup>. En este estudio, los cálculos de las respuestas esperadas se realizaron con el programa

aim was to identify the highest genetic responses for the three analyzed traits by changing the relative emphasis of each one since exact data on the economic weight of each were not available.

Studies done in the United States to increase responses have included production traits, type, udder, foot and final score, longevity, size and somatic cell counts<sup>(3,7)</sup>. Calculation of expected responses was done here using the MTBLUP program for Microsoft Excel<sup>(22)</sup>, and the relative weights were expressed as units of the traits' additive genetic standard deviation. The MTBLUP

Cuadro 3. Promedios y desviaciones estándar para variables de conformación<sup>a</sup>, habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48) y producción de leche a equivalente maduro y 305 días de la primera lactancia (PL1)

Table 3. Averages and standard deviations (SD) for conformation variables<sup>a</sup>, stayability to 48 mo of age (HP48) and 305-d mature equivalent milk production at first lactation (PL1)

Trait	HP48 + conformation traits (n=3,409)		PL1 + conformation traits (n=7,044)	
	Average	SD	Average	SD
ESTAT	6.87	1.27	6.86	1.23
PROFUN	6.41	1.47	6.20	1.42
PUNTA	5.26	1.10	5.22	1.22
ANCHA	6.92	1.21	6.69	1.35
ANPEZ	6.03	1.29	5.72	1.29
APLOM	5.62	1.04	5.60	1.19
CALHUE	7.23	1.23	6.65	1.47
INSEAN	5.86	1.40	5.56	1.43
POSTETAN	5.68	1.66	5.33	1.49
LMS	6.64	1.37	6.49	1.36
PROFUB	5.02	0.73	5.10	0.80
PUFIN	80.5	3.96	79.9	3.78
HP48	0.72	0.45	—	—
PL1, kg	—	—	9,512	2,152

<sup>a</sup> Average of classification points. ESTAT=height; PROFUN=body depth; PUNTA=rump height; ANCHA=rump width; ANPEZ=hoof angle; APLOM=leg set; CALHUE=bone quality; INSEAN=fore udder attachment; POSTETAN=front teat placement; LMS=median suspensory ligament; PROFUB=udder depth; PUFIN=final score.

MTBLUP para Microsoft Excel<sup>(22)</sup>, y los pesos relativos fueron expresados en unidades de desviaciones estándar genéticas aditivas de los caracteres. Para estimar las respuestas a la selección, el programa MTBLUP se basa en la metodología de índices de selección y modelos mixtos, la cual se encuentra descrita en detalle por Van Vleck<sup>(23)</sup>. Con el objeto de mejorar la precisión de la respuesta, al utilizar el programa MTBLUP se supuso que los animales contaban con información de su madre y de cinco medias hermanas. Para determinar los rangos de los pesos relativos designados a cada característica, se consideraron los valores revisados por Van Raden<sup>(3)</sup> para ganado Holstein a nivel internacional.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios obtenidos en las características analizadas en las dos bases de datos se muestran

program estimates selection responses based on the selection indices methodology and mixed models, as described by Van Vleck<sup>(23)</sup>. To improve response precision using this program, it was assumed that the animals had data for their dam and five half sisters. International revised values for Holstein cattle were used to determine the ranges of relative weights assigned for each trait<sup>(3)</sup>.

## RESULTS AND DISCUSSION

The averages of the traits analyzed in the two databases show that averages for conformation traits in both were similar (Table 3). Estimated heritability for the confirmation traits, HP48 and PL1 were low to moderate (Table 4). ESTAT heritability (0.31) was slightly higher than other traits. Heritabilities for the PROFUN, PUNTA, INSEAN, POSTETAN and PUFIN traits were about 0.20, that for ANCHA was 0.14, for APLOM it was

Cuadro 4. Heredabilidades ( $h^2$ ) y errores estándar para características de conformación, habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48) y producción de leche a equivalente maduro y 305 días de la primera lactancia (PL1) usando los dos archivos de datos

Table 4. Heritabilities ( $h^2$ ) and standard errors for confirmation traits, stayability to 48 mo of age (HP48) and 305-d mature equivalent milk production at first lactation (PL1) using two data files

Trait	HP48 $h^2$		PL1		Average	
	SE (n=3,409)		$h^2$	SE(n=7,044)	$h^2$	SE
ESTAT	0.27	0.05	0.34	0.04	0.31	0.05
PROFUN	0.21	0.05	0.19	0.03	0.20	0.04
PUNTA	0.13	0.04	0.20	0.03	0.18	0.04
ANCHA	0.14	0.04	0.14	0.03	0.14	0.04
ANPEZ	0.10	0.04	0.08	0.02	0.09	0.03
APLOM	0.13	0.04	0.09	0.02	0.11	0.03
CALHUE	0.07	0.04	0.07	0.02	0.07	0.03
INSEAN	0.22	0.05	0.21	0.03	0.22	0.04
POSTETAN	0.21	0.05	0.18	0.03	0.20	0.04
LMS	0.09	0.04	0.08	0.02	0.09	0.03
PROFUB	0.04	0.03	0.08	0.02	0.06	0.03
PUFIN	0.18	0.05	0.18	0.03	0.18	0.04
HP48	0.001	0.02	—		0.001	0.02
PL1	—		0.13	0.03	0.13	0.03

ESTAT=height; PROFUN=body depth; PUNTA=rump height; ANCHA=rump width; ANPEZ=hoof angle; APLOM=leg set; CALHUE=bone quality; INSEAN=fore udder attachment; POSTETAN=front teat placement; LMS=median suspensory ligament; PROFUB=udder depth; PUFIN=final score. SE=heritability standard error.



en el Cuadro 3, observando que los promedios de las características de conformación de los dos archivos fueron similares. Las heredabilidades estimadas en este estudio para las características de conformación, HP48 y PL1 fueron de bajas a moderadas y se presentan en el Cuadro 4. La heredabilidad promedio de ESTAT fue ligeramente mayor que las demás características, cuyo valor fue de 0.31. Las características de PROFUN, PUNTA, INSEAN, POSTETAN y PUFIN, tuvieron heredabilidades de alrededor de 0.20, ANCHA de 0.14, APLOM de 0.11, y ANPEZ, CALHUE, LMS y PROFUB, heredabilidades menores de 0.10, con errores estándar de de 0.01 a 0.05.

Todas las heredabilidades estimadas en este trabajo para las características de tipo fueron similares a las obtenidas por Moro y Ruíz<sup>(14)</sup>. Las heredabilidades obtenidas por algunos autores<sup>(7,24,25,26)</sup> para ESTAT, POSTETAN y PUFIN, fueron similares a las obtenidas en este trabajo. Por otra parte, el rango de heredabilidades estimadas por Misztal *et al*<sup>(4)</sup>, VanRaden *et al*<sup>(6)</sup> y Funk *et al*<sup>(26)</sup> para PROFUN fueron de 0.32 a 0.35, para ANCHA de 0.24 a 0.31, para APLOM de 0.10 a 0.14 y para PROFUB de 0.25 a 0.27, valores superiores a los obtenidos en este estudio. En el Cuadro 3 se puede observar que la desviación estándar para PROFUB es menor que para el resto de variables de conformación, lo que pudiera explicar parcialmente el bajo valor de heredabilidad estimado en esta característica.

La heredabilidad de HP48 obtenida en este trabajo fue de 0.001 y el valor estimado por Valencia *et al*<sup>(15)</sup>, utilizando información de 47,609 registros de ganado Holstein de México, la heredabilidad de HP48 fue de 0.03, que coincide con los obtenidos por otros autores<sup>(8,9,10,28)</sup>. El bajo estimador obtenido para HP48 en este estudio puede ser explicado parcialmente por el tipo de distribución de HP48 y a razones de muestreo. Sin embargo, la heredabilidad de esta características usando modelos lineales o modelos de supervivencia siempre se ha encontrado en el rango de 0.01 a 0.11<sup>(13)</sup>.

Para PL1, la heredabilidad fue de 0.13 y el valor obtenido por Valencia *et al*<sup>(15)</sup> fue de 0.25, donde

0.11 and for ANPEZ, CALHUE, LMS and PROFUB it was less than 0.10 (standard errors ranged from 0.01 to 0.05).

All the estimated heritabilities for type traits were similar to those reported by Moro and Ruíz<sup>(14)</sup>, and the heritabilities of ESTAT, POSTETAN and PUFIN were similar to previously reported values<sup>(7,24,25,26)</sup>. The estimated heritabilities of PROFUN, ANCHA, APLOM and PROFUB observed here were lower than ranges reported by others<sup>(4,6,26)</sup> (PROFUN=0.32 to 0.35; ANCHA=0.24 to 0.31; APLOM=0.10 to 0.14; PROFUB=0.25 to 0.27). The standard deviation for PROFUB was less than that of the other conformation variables, which may partially explain the low estimated heritability for this trait (Table 3).

Based on data from 47,609 records for Holstein cattle in Mexico, Valencia *et al*<sup>(15)</sup> reported an estimated HP48 heritability of 0.03, which coincided with other reports<sup>(8,9,10,28)</sup>. In contrast, estimated HP48 heritability based on the present data was 0.001, a lower value which may be partially explained by the type of HP48 distribution and sampling. Using linear or survival models, the heritability of this trait normally varies from 0.01 to 0.11<sup>(13)</sup>.

Heritability for PL1 estimated here was 0.13, lower than the 0.25 reported by others<sup>(15)</sup> using a larger number of records, and lower than values reported by other authors<sup>(29,30)</sup>. As with other variables, differences between estimators are probably due to sampling error, different numbers of observations in files and different years of birth for the animals; the magnitude of environmental effects can therefore differ.

The genetic and phenotypic correlations between conformation traits, PL1 and HP48 showed the genetic correlations between HP48 and ESTAT, and PUNTA and ANCHA to be close to zero (Table 5). The correlations between HP48 and ANPEZ, INSEAN and LMS were between 0.16 and 0.33, while those between HP48 and PROFUN and CALHUE were moderate but negative (-0.21 to -0.30). Between HP48 and APLOM,

Cuadro 5. Correlaciones genéticas y fenotípicas entre características de conformación, habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48) y producción de leche a equivalente maduro y 305 días de la primera lactancia (PL1)

Table 5. Genetic ( $r_g$ ) and phenotypic ( $r_f$ ) correlations between conformation traits, stayability to 48 mo of age (HP48) and 305-d mature equivalent milk production at first lactation (PL1)

Trait	$r_g$		$r_f$	
	HP48 (n=4,075)	PL1 (n=7,044)	HP48 (n=4,075)	PL1 (n=7,044)
ESTAT	0.02	0.06	0.08	0.07
PROFUN	-0.30	-0.08	0.06	0.04
PUNTA	-0.03	0.10	-0.03	0.01
ANCHA	0.09	0.26	0.07	0.02
ANPEZ	0.27	-0.23	0.01	0.05
APLOM	0.69	-0.07	0.04	-0.02
CALHUE	-0.21	-0.05	0.05	0.01
INSEAN	0.16	-0.15	0.06	-0.07
POSTETAN	0.40	-0.17	0.06	0.01
LMS	0.33	0.48	0.06	0.07
PROFUB	0.52	-0.27	-0.03	-0.13
PUFIN	0.51	-0.01	0.10	0.03

ESTAT=height; PROFUN=body depth; PUNTA=rump height; ANCHA=rump width; ANPEZ=hoof angle; APLOM=leg set; CALHUE=bone quality; INSEAN=fore udder attachment; POSTETAN=front teat placement; LMS=median suspensory ligament; PROFUB=udder depth; PUFIN=final score.

se utilizó un mayor número de registros. Al igual que con otras variables, la diferencia en los estimadores es debida probablemente al error de muestreo, al diferente número de observaciones de los archivos, y a los distintos años de nacimiento de los animales, de manera que la magnitud de los efectos ambientales pudo diferir. La heredabilidad de PL1 obtenida en otros trabajos<sup>(29,30)</sup>, también fue de 0.25.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre características de conformación, PL1 y HP48 se presentan en el Cuadro 5. Las correlaciones genéticas entre HP48 y ESTAT, PUNTA y ANCHA fueron cercanas a cero, entre HP48 y ANPEZ, INSEAN y LMS fueron de entre 0.16 y 0.33, las correlaciones estimadas entre HP48 con PROFUN y CALHUE fueron moderadas pero negativas (de -0.21 a -0.30) y entre HP48 y APLOM, POSTETAN, PROFUB y PUFIN tuvieron valores de 0.40 a 0.69.

POSTETAN, PROFUB and PUFIN the correlation values ranged from 0.40 to 0.69.

The genetic correlations estimated by Short and Lawlor<sup>(7)</sup> between stayability to 54 mo of age and height and rump width are similar to those estimated here. Van Doormal *et al.*<sup>(11)</sup> and Rogers *et al.*<sup>(12)</sup> also reported results similar to those observed here. In contrast, the genetic correlations generated by Vollema<sup>(13)</sup> between stayability to 36 mo of age and leg set, front teat placement, udder depth and median suspensory ligament were negative, whereas they were positive in the present data. This discrepancy may be explained by the amount and structure of the data, and the analytical model applied.

The genetic correlations estimated between PL1 and ESTAT, PROFUN, PUNTA, APLOM, CALHUE, INSEAN, POSTETAN and PUFIN ranged from 0.17 to 0.10. Slightly higher

Las correlaciones genéticas estimadas por Short y Lawlor<sup>(7)</sup> entre habilidad de permanencia a los 54 meses de edad y estatura y anchura de anca son similares a las estimadas en este estudio. Otros resultados similares entre habilidades de permanencia y características de tipo fueron encontrados en otros estudios<sup>(11,12)</sup>. Sin embargo, las correlaciones genéticas obtenidas por Vollema<sup>(13)</sup> entre habilidad de permanencia a los 36 meses de edad con aplomos, posición de tetas anteriores, profundidad de ubre y ligamento medio suspensorio fueron negativas, mientras que las estimadas en este estudio fueron positivas. Esto pudiera explicarse por la cantidad y estructura de datos y probablemente al modelo de análisis utilizado.

Las correlaciones genéticas estimadas en este estudio entre PL1 y ESTAT, PROFUN, PUNTA, APLOM, CALHUE, INSEAN, POSTETAN y PUFIN fueron de -0.17 a 0.10. La correlación genética entre PL1 y ANCHA fue de 0.26, PL1 y LMS de 0.48, PL1 y ANPEZ de -0.23 y entre PL1 y PROFUB de -0.27 (Cuadro 5).

La correlación genética entre PL1 y ESTAT, fue igual a la estimada por otros<sup>(4)</sup>. Algunas de las correlaciones genéticas estimadas en este trabajo entre PL1 con características de conformación, concuerdan con los resultados obtenidos en diferentes estudios. Por ejemplo, Short y Lawlor<sup>(7)</sup> obtuvieron una correlación genética entre PL1 y PUFIN tendiente a cero (0.06 vs -0.01 de este estudio), entre PL1 y PUNTA, la correlación fue de 0.13 (vs 0.10 de este trabajo), entre PL1 e INSEAN de -0.23 (vs -0.15 de este trabajo) y entre PL1 y PROFUB de -0.41 (vs -0.27 de este estudio). Asimismo, Misztal *et al*<sup>(4)</sup>, estimaron una correlación genética entre PL1 y ANCHA de 0.11, mientras que en este trabajo fue de 0.26, y Meyer *et al*<sup>(31)</sup> obtuvieron una correlación entre PL1 y ANPEZ de -0.12, y la obtenida aquí fue de -0.23.

Todas las correlaciones fenotípicas estimadas en este estudio entre HP48 y las características de tipo y entre PL1 y tipo fueron bajas, similares a las de otros<sup>(7)</sup> entre características de conformación, PL1 y habilidades de permanencia a los 54 meses

correlaciones were observed between PL1 and ANCHA (0.26), and between PL1 and LMS (0.48). Lower correlations were recorded between PL1 and ANPEZ (-0.23) and between PL1 and PROFUB (-0.27) (Table 5).

The correlation between PL1 and ESTAT observed here was similar to previously reported values<sup>(4)</sup>. Also, some of the correlations between PL1 and conformation traits agree with those reported in other studies. For example, Short and Lawlor<sup>(7)</sup> reported a correlation between PL1 and PUFIN of close to zero (0.06 vs -0.01 in present results), one between PL1 and PUNTA of 0.13 (vs 0.10 in present results), one between PL1 and INSEAN of -0.23 (vs -0.15 in present results) and one between PL1 and PROFUB of -0.41 (vs -0.27 in present results). The genetic correlation reported by Misztal *et al*<sup>(4)</sup> between PL1 and ANCHA was 0.11 (vs 0.26 in present results), and that reported by Meyer *et al*<sup>(31)</sup> between PL1 and ANPEZ was -0.12 (vs -0.23 in present results).

All the phenotypic correlations estimated here between HP48 and conformation traits, and between

Cuadro 6. Parámetros utilizados en los índices para producción de leche de la primera lactancia a equivalente maduro y 305 días ordeña (PL1), puntos finales (PUFIN) y habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48)

Table 6. Parameters used in indices for stayability to 48 mo of age (HP48), 305-d mature equivalent milk production at first lactation (PL1) and final score (PUFIN)

	Heritabilities <sup>1</sup> , genetic correlations <sup>2</sup> and phenotypic correlations <sup>3</sup>		
	HP48	PL1	PUFIN
HP48	0.001	0.38	0.51
PL1	0.08	0.25	-0.01
PUFIN	0.10	0.03	0.18
$\sigma_F$	44 %	1,670 kg	3.3 pts
$\sigma_A$	1.39	835	1.40

<sup>1</sup> On diagonal; <sup>2</sup> above diagonal; <sup>3</sup> below diagonal;  $\sigma_F$ =intra-herd phenotypic standard deviation;  $\sigma_A$ =additive genetic standard deviation.

de edad. Las correlaciones fenotípicas de este estudio más altas se obtuvieron en entre HP48 y PUFIN (0.10), y entre PL1 y PROFUB (-0.13). El error estándar estimado en todas las correlaciones genéticas fue mayor que 0.12, debido probablemente a errores de muestreo, al modelo utilizado o a la estructura de los datos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, si se realizara una selección exclusiva de la producción de leche de la primera lactancia podría mejorar indirectamente el ligamento medio suspensorio, la anchura de cadera y en menor grado la punta del anca y la profundidad de la ubre en la población Holstein de México. Sin embargo los animales podrían resultar con problemas en la ubre, particularmente con la posición de las tetas y la inserción anterior, deteriorando además el ángulo de las pezuñas. Sería conveniente también incluir en las evaluaciones genéticas, los resultados de la evaluación de habilidad de permanencia a los 48 meses de edad y estudiar la incorporación de otras características de conformación como criterios de selección, por ejemplo algunas relacionadas a ubre (profundidad, ligamento medio suspensorio y ángulo de pezones), patas y pezuñas.

Las respuestas a la selección predichas se muestran en el Cuadro 7. Los pesos relativos se presentan en unidades de desviación estándar genética aditivas de cada característica. Las respuestas por generación, considerando los mayores incrementos para PL1 (kg), PUFIN (puntos) y HP48 (%), se estimaron en los índices cuyas relaciones fueron 4:1:1, 1:0:0, 3:1:1 y 2:1:1. Para PL1, la mayor respuesta fue de 747 kg utilizando la relación 1:0:0, lo cual representa un incremento del 8.8 % respecto a la media. Sin disminuir la respuesta de manera importante en PL1, el mayor incremento para PUFIN fue de 0.90 puntos (índice 2:1:1) y para HP48 de 0.44 % (índice 1:0:0).

Los resultados de los índices sugieren que utilizando por ejemplo un índice cuya relación fuera de 3:1:1, se pueden esperar incrementos por generación para PL1, PUFIN y HP48 de 739 kg, 0.87 puntos y 0.40 %, respectivamente, en la población de vacas Holstein de México en control de producción.

PL1 and conformation traits were low. They were similar to those reported by Short and Lawlor<sup>(7)</sup> between conformation traits, PL1 and stayability to 54 mo of age. The highest correlations observed in the present study were between HP48 and PUFIN (0.10), and between PL1 and PROFUB (-0.13).

Estimated standard error in all the genetic correlations was greater than 0.12, probably due

Cuadro 7. Respuestas esperadas<sup>1</sup> a la selección utilizando índices para producción de leche de la primera lactancia a equivalente maduro y 305 días ordeña (PL1), puntos finales (PUFIN) y habilidad de permanencia a los 48 meses de edad (HP48)<sup>2</sup>

Table 7. Expected responses<sup>1</sup> to selection using indices for 305-d mature equivalent milk production at first lactation (PL1), final score (PUFIN) and stayability to 48 mo of age (HP48)<sup>2</sup>

Index <sup>3</sup>	PL1 (kg)	PUFIN (points)	HP48 (%)
1:1:1	717	0.97	0.36
2:1:1	733	0.90	0.39
3:1:1	739	0.87	0.40
1:0:0	747	0.74	0.44
0:1:0	457	1.21	0.06
0:0:1	616	0.13	0.53
0:1:1	643	1.12	0.26
2:2:1	699	1.03	0.32
1:2:1	662	1.10	0.27
0:2:0	456	1.21	0.06
0:0:2	615	0.13	0.53
2:2:0	673	1.08	0.28
2:2:2	717	0.97	0.36
2:1:0	716	0.98	0.35
1:3:1	622	2.46	0.22
2:2:3	729	0.92	0.39
0:3:0	456	1.21	0.06
0:0:3	616	0.13	0.53
3:2:0	701	1.03	0.32
3:2:1	717	0.98	0.35
10:1:1	745	0.79	0.43
4:1:1	742	0.84	0.41

<sup>1</sup> By generation. <sup>2</sup> Relative weights expressed in additive standard deviations of the traits. <sup>3</sup> Index ratio for PL1 : PUFIN : HP48.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Debido a las altas correlaciones genéticas obtenidas en este estudio entre habilidad de permanencia a los 48 meses de edad con posición de pezones anteriores, profundidad de ubre, puntos finales y aplomos, la incorporación de algunas de estas características en los índices de selección en primera lactancia, podrían ayudar a mejorar genéticamente la habilidad de permanencia a los 48 meses de edad. Las variables de conformación que resultaron más importantes para predecir la habilidad de permanencia a los 48 meses fueron posición de pezones anteriores, profundidad de ubre y puntos finales. Con los resultados obtenidos y utilizando un índice cuya relación fuera 3:1:1 para producción de leche de la primera lactancia, puntos finales y habilidad de permanencia a los 48 meses de edad, se puede esperar un mejoramiento de las tres características simultáneamente en forma equilibrada. Resulta indispensable determinar los valores económicos relativos de cada característica para maximizar la respuesta económica a la selección. No debe descartarse la posibilidad de realizar investigaciones utilizando un mayor número de registros y tendientes a la utilización de otros modelos de análisis, de manera que se pudiera explicar de mejor forma la variación presente en la población en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento parcial recibido para realizar este estudio (proyecto K0222B).

## LITERATURA CITADA

1. INTERBULL. International bull evaluation service. Sire evaluation procedures for non-dairy-production and growth & beef cattle production traits practised in various countries. International Bull Evaluation Service, Uppsala, Sweden, 1996; Bull 13.
2. Dekkers JCM, Jairath LK, Lawrence BH. Relationship between sire genetic evaluations for conformation and functional herd life of daughters. *J Dairy Sci* 1994;(77):844-849.

to sampling errors, the model applied and/or data structure.

The present results indicate that if a selection was made based exclusively on first lactation milk yield it would result in indirect improvements in median suspensory ligament, hip width and, to a lesser degree, rump height and udder depth in the Holstein population in Mexico. However, this could also produce problems in the udder, particularly in teat placement and fore attachment, and negatively affect hoof angle. Genetic evaluations would also benefit by inclusion of evaluations of stayability to 48 months of age and study of other conformation traits as selection criteria; for example, those related to the udder (depth, median suspensory ligament and teat angle), feet and hooves.

Relative weight in the predicted selection responses is expressed in units of additive genetic standard deviation for each trait (Table 7). Using the highest increases in PL1 (kg), PUFIN (points) and HP48 (%), responses by generation were estimated in the indices with ratios of 4:1:1, 1:0:0, 3:1:1 and 2:1:1. The highest response for PL1 was 747 kg using the 1:0:0 ratio, which represents an 8.8 % increase over the mean. The highest increase in PUFIN was 0.90 points (2:1:1 ratio) and the highest for HP48 was 0.44 % (1:0:0 ratio), with no significant decrease in PL1. The results from the indices suggest that by using a 3:1:1 ratio, for example, increases could be expected in PL1 (739 kg), PUFIN (0.87 points) and HP48 (0.40 %) by generation in the Holstein cow population in Mexico under milk recording.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The high genetic correlations observed here between stayability to 48 mo of age and front teat placement, udder depth, final score and leg set indicate that incorporating some of these traits into first lactation selection indices could help to genetically improve stayability to 48 mo of age. The most important conformation variables for prediction of stayability to 48 months were front teat placement, udder depth and final score. Based on the results and applying a 3:1:1 ratio for first lactation milk yield,

3. VanRaden PM. Invited review: Selection on net merit to improve lifetime profit. *J Dairy Sci* 2004;(87):3125-3131.
4. Misztal I, Lawlor TJ, Short TH, VanRaden PM. Multiple-trait estimation of variance component of yield and type traits using an animal model. *J Dairy Sci* 1992;(75):544-551.
5. Strandberg E, Solkner J. Breeding for longevity and survival in dairy cattle. Proc. International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle. Faculte Universitaire des Sciences Agronomiques, Cembleux, Belgium. 1996:111-119.
6. VanRaden PM, Jensen EL, Lawlor TJ, Funk DA. Prediction of transmitting abilities for Holstein type traits. *J Dairy Sci* 1990;(73):191-197.
7. Short TH, Lawlor TJ. Genetic parameters of conformation traits, milk yield and herd life in Holstein. *J Dairy Sci* 1992;(75):1987-1998.
8. Hudson GFS, Van Vleck LD. Relationship between production and stayability in Holstein cattle. *J Dairy Sci* 1981;(64):2246-2250.
9. Vollema AR, Groen AF. Genetic parameters of longevity traits of an upgrading population of dairy cattle. *J Dairy Sci* 1996(9):2261-2267.
10. VanRaden PM, Klaaskate EJH. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J Dairy Sci* 1993;(76):2758-2764.
11. Van Doormaal BJ, Burnside EB, Schaeffer LR. An analysis of the relationship among stayability, production, and type in Canadian milk-recording schemes. *J Dairy Sci* 1996;(69):510-515.
12. Rogers GW, McDaniel BT. The usefulness of selection for yield and functional type traits. *J Dairy Sci* 1989;(72):187-193.
13. Vollema AR. Selection for longevity in dairy cattle [doctoral thesis], The Netherlands: Wageningen Agricultural University; 1998.
14. Moro MJ, Ruíz LF. Estimación de parámetros genéticos para características de conformación en bovinos Holstein en México. *Téc Pecu Méx* 1999;(37):41-53.
15. Valencia PM, Montaldo VH, Ruíz LF. Estimación de parámetros genéticos para características de longevidad y producción de leche en ganado Holstein en México. *Interciencia* 2004;(29):52-56.
16. Jairath LK, Hayes JF, Cue RI. Correlations between first lactation and lifetime performance traits of Canadian Holsteins. *J Dairy Sci* 1995;(78):438-448.
17. SAS, Institute Inc. User's guide for linear models. Cary, North Carolina. SAS Inst. Inc. 1995.
18. Boldman KG, Kriese LA, Van Vleck D, Van Tassell CP, Kachman SD. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (Draft). USDA, Agric Res Serv 1995:114.
19. Banks BD, Mao IL, Walter J P. Robutness of restricted maximum likelihood estimator derived under normality as applied to data with skewed distributions. *J Dairy Sci* 1985;(68):1785-1792.
20. Jairath LK, Hayes JF, Cue RI. Multitrait restricted maximum likelihood estimates of genetic and phenotypic parameters of lifetime performance traits for Canadian Holsteins. *J Dairy Sci* 1994;(77):303-312.
21. Henderson CR. Application for linear models in animal breeding. Canadá: University of Guelph ed; 1984.

endpoints and stayability to 48 mo of age, simultaneous, balanced improvement can be expected in these three conformation traits. The relative economic values of each trait need to be determined to maximize the economic response to selection. Further research can also be done using a larger number of records and other analytical models to better explain variation within the study population.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially supported by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (project K0222B).

*End of english version*

- 
22. Van der Werf JHJ. MTBLUP [online]. Excel program for Selection Index. 2000. [on line]: <http://www-personal.une.edu.au/~jvanderw/software.htm>. Accessed June 15, 2000.
  23. Van Vleck, L.D. Selection index and introduction to mixed model methods. CRC Press. 1993:481.
  24. Weigel DJ, Cassell BG, Hoeschele I, Pearson RE. Multiple-trait prediction of transmitting abilities for herd life and estimation of economic weights using relative net income adjusted for opportunity cost. *J Dairy Sci* 1995;(78):639-647.
  25. Short TH, Lawlor TJ, Lee KL. Genetic parameters for three experimental linear type traits. *J Dairy Sci* 1991;(74):2020-2025.
  26. Smothers CD, Pearson RE, Hoeschele I, Funk DA. Herd final scores and its relationship to genetic and environmental parameters of conformation traits of United States Holsteins. *J Dairy Sci* 1993;(76):1671-1677.
  27. Funk DC, Hansen LB, Funk DA. Inheritance of cow durability for linear type traits. *J Dairy Sci* 1991;(74):1753-1759.
  28. Dentine MR, McDaniel BT, Norman HD. Evaluation of sires for traits associated with herd life of grade and registered Holstein cattle. *J Dairy Sci* 1987;(70):2616-2622.
  29. Visscher PM, Goddard ME. Genetic parameters for milk yield, survival, workability and type traits for Australian dairy cattle. *J Dairy Sci* 1995;(78):205.
  30. Chauhan VPS, Hayes JF. Genetic parameters for first lactation milk production and composition traits for Holstein using multivariate restricted maximum likelihood. *J Dairy Sci* 1991;(74):603-610.
  31. Meyer K, Brotherstone S, Hill WG, Edwards MR. Inheritance of linear type traits in dairy cattle and correlations with milk production. *Anim Prod* 1987;(44):1-10.