

# ANÁLISIS GENÉTICO DE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA DE VACAS HOLSTEIN Y PARDO SUIZO EN PASTOREO INTENSIVO EN CONDICIONES SUBTROPICALES

## Genetic Analysis of Milk Yield of Holstein and Brown Swiss Cows under Intensive Grazing in Subtropical Conditions

Ángel Ríos-Utrera<sup>1\*</sup>, René Carlos Calderón-Robles<sup>2</sup>, José Reyes Galavíz-Rodríguez<sup>3</sup>, Vicente Eliezer Vega-Murillo<sup>1</sup> y Juvencio Lagunes-Lagunes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo experimental La Posta, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 22.5 carretera federal Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México, 94277. Teléfono: (229) 262-2222, \* rios.angel@inifap.gob.mx

<sup>2</sup>Sitio experimental Las Margaritas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 9.5 carretera Hueytamalco-Tenampulco, Hueytamalco, Puebla, México, 73580. Teléfono: (232) 100-9103.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tlaxcala. Avenida Universidad No. 1, Tlaxcala, Tlax., México. Teléfono: (246) 462-4143.

<sup>4</sup>Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Puebla, A.C. (CIPEP, A.C.). Kilómetro 9.5 carretera Hueytamalco-Tenampulco, Hueytamalco, Puebla, México, 73580. Teléfono: (232) 100-9103.

### RESUMEN

Se analizaron los registros productivos y genealógicos de 354 vacas Holstein y Pardo Suizo, nacidas de 1986 a 2006 en el sitio experimental Las Margaritas (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), localizado en el estado de Puebla, México, para estimar componentes de varianza, la heredabilidad y la repetibilidad de la producción total de leche (PTL), producción de leche por día (PLD), producción de leche por día interparto (PDI), duración de la lactancia (DL), peso de la vaca al parto (PP), eficiencia productiva (EP) y duración de la gestación (DG). Las vacas fueron hijas de 144 sementales y 232 madres. Los parámetros genéticos fueron estimados con el programa MTDFREML, usando un modelo animal para una sola característica. Los modelos incluyeron los efectos genético directo y ambiental permanente de la vaca, y los efectos fijos de raza (2 clases: Holstein y Pardo Suizo), año de parto (22 clases: 1989-2010), época de parto (3 clases: noviembre-febrero, marzo-junio y julio-octubre) y la edad de la vaca al parto, como covariable (lineal y cuadrática). El estimado de heredabilidad para peso de la vaca al parto fue similar a los estimados de heredabilidad relacionados con la producción de leche, pero mayor que los estimados de heredabilidad para

duración de la gestación y duración de la lactancia. El estimado de la varianza del ambiente permanente fue cero para PDI, DL, EP y DG; por lo tanto, los estimados de repetibilidad para estas tres características fueron iguales a sus correspondientes estimados de heredabilidad. Los estimados de heredabilidad y repetibilidad fueron: 0,28 y 0,40; 0,29 y 0,40; 0,32 y 0,32; 0,11 y 0,11; 0,30 y 0,49; 0,34 y 0,34; y 0,08 y 0,08 para PTL, PLD, PDI, DL, PP, EP y DG, respectivamente. La magnitud de los estimados de heredabilidad indica que existe suficiente variación genética para mejorar la producción de leche a través de selección.

**Palabras clave:** Heredabilidad, peso al parto, producción de leche, eficiencia de la vaca, subtrópico.

### ABSTRACT

Productive and genealogical records of 354 Holstein and Brown Swiss cows born from 1986 to 2006 at Las Margaritas (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) research station, located in the State of Puebla, Mexico, were analyzed to estimate variance components, heritability and repeatability of milk yield per lactation (MYL), milk yield per day (MYD), milk yield per calving interval (MYCI), lactation length (LL), cow weight at calving (CW), efficiency of milk production (EMP) and gestation length (GL). The cows

were daughters of 144 sires and 232 dams. Genetic parameters were estimated using the MTDFREML set of programs, applying single-trait animal models. Models included additive genetic and permanent environmental effects, and the fixed effects of breed (2 classes: Holstein and Brown Swiss), calving year (22 classes: 1989-2010), calving season (3 classes: November-February, March-June, and July-October), and the age of the cow at calving, as a covariable (linear and quadratic). The estimate of heritability for cow weight at calving was similar to the estimates of heritability related to milk yield, but was greater than the estimates of heritability for lactation length and gestation length. The estimate of the permanent environmental variance was zero for MYC, LL, CW and EMP; therefore, the estimates of repeatability for these three traits were equal to corresponding estimates of heritability. The estimates of heritability and repeatability were: 0.28 and 0.40; 0.29 and 0.40; 0.32 and 0.32; 0.11 and 0.11; 0.30 and 0.49; 0.34 and 0.34; and 0.08 and 0.08 for MYL, MYD, MYCI, LL, CW, EMP and GL, respectively. Magnitude of estimates of heritability indicates that enough genetic variation exists to improve milk yield through selection.

**Key words:** Heritability, milk yield, cow weight, cow efficiency, subtropics.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones de producción en las regiones tropicales y subtropicales se caracterizan por altas temperaturas, baja calidad de los pastos, escasa suplementación con alimentos concentrados, alta incidencia de parásitos y enfermedades, poca e inadecuada infraestructura, programas de mejoramiento genético desorganizados, desconocimiento de los beneficios económicos y falta de compromiso social al cambio en la sociedad [7, 30]. Por lo tanto, es necesario que la producción de leche y carne sea mejorada para satisfacer las necesidades mínimas de la creciente población humana en estas regiones. A pesar de las condiciones adversas que se presentan en estas regiones, se ha demostrado que se pueden obtener niveles aceptables de producción de leche [22]. Para poder establecer programas de mejoramiento con el objetivo de aumentar la producción de leche en los trópicos y subtrópicos, es necesario contar con estimados de componentes de varianza y parámetros genéticos; sin embargo, además de escasos, los estudios de este tipo que se han realizado hasta ahora en México se han enfocado principalmente en vacas Holstein mantenidas en clima templado y/o seco [23, 32]. Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estimar la varianza genética aditiva, la heredabilidad y la repetibilidad de características de producción de leche, eficiencia productiva y peso al parto de vacas (*Bos taurus*) Holstein y Pardo Suizo mantenidas en pastoreo intensivo en condiciones subtropicales de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del lugar donde se realizó el estudio

El estudio se realizó en el sitio experimental Las Margaritas, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Hueytamalco, en la sierra nororiente del estado de Puebla, México, a 500 m.s.n.m. Presenta un clima subtropical húmedo semicálido [15]. La temperatura promedio anual es de 20,8°C, la mínima de 15,3°C en invierno y la temperatura máxima es de 24,2°C en verano [29]. Además, presenta un periodo bien definido de lluvias de julio a octubre, y un periodo de baja temperatura con llovizna que inicia a finales de octubre y termina a finales de febrero [29].

### Población de estudio

Para la realización del presente trabajo, se utilizó la información productiva y genealógica de un total de 354 vacas de las razas Holstein (n=186) y Pardo Suizo (n=168), las cuales fueron producidas con 144 sementales y 232 madres. Los 144 sementales se aparearon con las 232 vacas a través inseminación artificial (principalmente) y monta natural. Las 354 vacas evaluadas nacieron de 1986 a 2006 y parieron de 1989 a 2010.

### Manejo reproductivo

El manejo reproductivo se inició cuando las hembras alcanzaron aproximadamente 350 kg, momento en el cual se realizó la primera inspección de los genitales internos mediante palpación rectal. Posteriormente, la palpación de los genitales internos se realizó rutinariamente cada 15 días (d) para determinar la existencia de posibles problemas reproductivos. La detección de calores (estros) se realizó una hora (h) en la mañana (de 06:00 a 07:00 h) y otra h en la tarde (de 17:00 a 18:00 h), con el apoyo de un toro con pene desviado. Las hembras en celo fueron inseminadas de la manera convencional. Las que presentaban celo en la mañana fueron inseminadas en la tarde y las que presentaban celo en la tarde fueron inseminadas al siguiente día por la mañana. El diagnóstico de gestación se realizó a partir de los 45 d posteriores a la última inseminación.

### Alimentación

Las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional en potreros con zacate estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). Los periodos de ocupación de los potreros fueron de 2 a 3 d, y los periodos de descanso fueron de 35 a 40 d, dependiendo de la época del año, con una carga animal de 2,5 unidades animal por hectárea al año. Durante la época de sequía (noviembre a marzo), las vacas recibieron de 20 a 30 kg/animal/d de caña japonesa (*Saccharum sinense*). Además, las vacas en lactancia recibieron durante el ordeño 3,5 kg de un alimento concentrado comercial (16% de proteína cruda y 70% de total

de nutrientes digestibles) al d, mientras que las vacas secas recibieron 2 kg del mismo tipo de alimento al d.

### Manejo durante el ordeño

Las vacas se separaron de sus crías al tercer d posparto, posteriormente se manejaron en tres lotes: 1) vacas del parto al quinto mes de lactancia, 2) vacas del quinto mes de lactancia al secado y 3) vacas secas. Las vacas en producción ingresaron a la sala de ordeño a partir del cuarto d posterior al parto. Se ordeñaron dos veces al d mediante ordeñadora mecánica (Alfa Laval Agri, In-churn, Reino Unido). El pesaje de la leche se realizó mecánicamente en cada ordeño con medidores proporcionales tipo Waikato, los cuales estaban integrados a la ordeñadora mecánica. La producción total de leche de cada día se obtuvo sumando la leche producida durante el primer ordeño a la producida durante el segundo. Las vacas se secaron cuando tuvieron siete meses de gestación o su producción de leche fue menor a 2 kg por d.

### Características analizadas

Los componentes de varianza y los parámetros genéticos fueron estimados para las siguientes características: 1) producción total de leche por lactancia (PTL, kg), definida como los kilogramos de leche producidos por vaca durante la lactancia; 2) duración de la lactancia (DL), definida como el número de d transcurridos desde el parto hasta el secado; 3) producción de leche por d (kg/d), calculada como PTL/DL; 4) producción de leche por d interparto (PLI), definida como PTL/intervalo entre partos (kg/d interparto); 5) peso de la vaca al parto (PP; kg); 6) eficiencia productiva; y 7) duración de la gestación (d). La eficiencia productiva se calculó con la ecuación propuesta por Demeke y col. [11]:  $(PLI \times 365)/PP^{0.75}$ , donde  $PLI \times 365$  estandariza la producción de leche de vacas con diferente intervalo entre partos y  $PP^{0.75}$  es el peso metabólico de la vaca. Por lo tanto, la eficiencia productiva es una medida de la eficiencia de la producción de leche de la vaca en relación con su peso metabólico.

### Análisis estadísticos

**Análisis preliminares.** Antes de la estimación de los componentes de varianza y parámetros genéticos, se realizaron análisis estadísticos preliminares para cada característica a fin de determinar qué efectos fijos eran fuentes de variación importantes, para lo cual se utilizó el procedimiento MIXED del SAS [18]. Los efectos fijos incluidos en el modelo completo fueron: raza de la vaca (2 clases: Holstein, Pardo Suizo), año de parto (22 clases: 1989-2010), época de parto (3 clases: noviembre-febrero; marzo-junio; julio-octubre), las interacciones de primer orden (tres) que se derivan de estos efectos principales, y la edad de la vaca al parto, en d, como covariable, tanto en forma lineal como cuadrática. Además, el modelo completo preliminar incluyó el efecto aleatorio del semental anidado dentro de raza. Para determinar los modelos definitivos

se realizaron análisis secuenciales para cada característica, removiendo del modelo completo las interacciones y/o las covariables que no resultaban significativas a una  $P < 0,05$ . El modelo definitivo para todas las características incluyó los efectos de raza, semental anidado dentro de raza de la vaca, año de parto, época de parto y edad de la vaca al parto. Ninguna de las interacciones resultó significativa para ninguna de las características evaluadas.

**Análisis univariados con máxima verosimilitud restringida.** Los componentes de varianza fueron estimados con un modelo animal de repetibilidad para una sola característica con el objeto de considerar los efectos del ambiente permanente de la vaca, comunes a los registros repetidos de un mismo animal. Las estimaciones de los componentes de varianza se hicieron por medio de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas, utilizando el programa MTDFREML [5].

El modelo animal de repetibilidad puede ser descrito de la siguiente manera:  $Y = X\beta + Z_a a + Z_c c + e$ , donde Y es el vector de registros,  $\beta$  es el vector de efectos fijos (raza, año de parto, época de parto, edad de la vaca como covariable), a es un vector desconocido de efectos aleatorios genéticos aditivos directos, c es un vector desconocido de efectos aleatorios del ambiente permanente de la vaca, e es un vector desconocido de efectos aleatorios del ambiente temporal y X,  $Z_a$  y  $Z_c$  son matrices conocidas de incidencia que relacionan los registros con  $\beta$ , a y c, respectivamente. Los valores esperados (E) y las varianzas (V) para los efectos aleatorios del modelo de repetibilidad fueron:

$$E \begin{bmatrix} a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ y } V = \begin{bmatrix} a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_c\sigma_c^2 & 0 \\ 0 & 0 & I_N\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

donde A es la matriz de Wright de parentescos aditivos entre todos los animales en el pedigrí,  $\sigma_a^2$  es la varianza genética aditiva directa,  $\sigma_c^2$  es la varianza del ambiente permanente de la vaca,  $\sigma_e^2$  es la varianza del ambiente temporal,  $I_c$  es una matriz identidad de dimensión igual al número de vacas, e  $I_N$  es una matriz identidad de dimensión igual al número de observaciones.

**Valores preliminares y convergencia.** Los valores iniciales de las varianzas genética aditiva directa y del ambiente permanente de la vaca que se usaron para los análisis estuvieron basados en valores disponibles en la literatura científica. Se asumió que la convergencia fue obtenida cuando la varianza de los valores de menos dos veces el logaritmo de la verosimilitud en el simplex fue menor que  $10^{-12}$ . Después de que el programa convergió en el primer ciclo de iteraciones, se realizaron seis ciclos más de iteraciones para verificar que la convergencia no se efectuó en un local máximo, sino en un global máximo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas descriptivas, por característica, se presentan en la TABLA I. El número de registros analizados para los caracteres duración de la gestación y producción total de leche por lactancia es 843 y 1.229, respectivamente. En promedio, las vacas produjeron 3.739 kg de leche por lactancia, la cual tuvo una duración media de 345 d. El peso al parto promedio de las vacas fue de 498 kg. En la TABLA II se muestran los estimados de los componentes de varianza para las características de producción de leche y peso al parto. Los estimados de los parámetros genéticos, así como sus errores estándar, se presentan en la TABLA III.

### Producción de leche

El efecto genético aditivo directo para la producción de leche por lactancia fue moderadamente heredable, con un es-

timado de heredabilidad de 0,28. Este estimado indica que es factible aumentar la producción de leche por lactancia en el hato lechero en estudio a través de la selección de animales sobresalientes. El presente estimado es similar a los estimados de heredabilidad (0,29; 0,29; 0,29; 0,28; 0,31; 0,26) reportados para vacas Holstein brasileñas [6], suizas [16], sudafricanas [21], mexicanas [23], canadienses [25] e iraníes [28]. Sin embargo, Freitas y col. [14], Montaldo y col. [19], Palacios-Espinoza y col. [24], Pérez-Quintero y Gómez-Gil [26] y Valencia-Posadas y col. [32] encontraron que la heredabilidad de la producción de leche por lactancia es baja, reportando estimados de heredabilidad menores al 20%. El estimado de repetibilidad de la producción de leche por lactancia tuvo un valor de 0,40. Dicho estimado de repetibilidad se debió en mayor proporción al efecto genético aditivo ( $\sigma_a^2 = 108.596,3 \text{ kg}^2$ ; TABLA II) que al efecto del ambiente permanente ( $\sigma_c^2 = 47.076,4 \text{ kg}^2$ ; TABLA II). Al-Seaf y col. [3] y Pérez-Quintero y Gómez-Gil

TABLA I  
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS Y ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN

	Característica <sup>a</sup>						
	PTL	PLD	PDI	EP	DL	PP	DG
Número de observaciones	1.229	1.227	929	890	1.229	1.164	843
Valor mínimo	1.113	4,8	2,6	9,5	186	246	251
Valor máximo	9.306	18,1	15,7	5,4	857	730	313
Media	3.739	11,0	8,9	31,1	345	498	284
Desviación estándar	113	2,3	1,9	6,4	100	61,9	8,5
Coefficiente de variación, %	30,2	20,9	22,3	20,5	29,1	12,4	2,9
Número de vacas	354	354	286	280	354	349	284
Número de sementales	144	144	126	120	144	141	131
Número de madres	232	232	193	189	232	228	197
Número de animales en el pedigrí	590	590	495	483	590	590	496

<sup>a</sup>PTL= producción de leche por lactancia (kg); PLD= producción de leche por día (kg); PDI= producción de leche por día interparto (kg); EP= eficiencia productiva (kg); DL= duración de la lactancia (días); PP= peso de la vaca al parto (kg); DG= duración de la gestación (días).

TABLA II  
ESTIMADOS DE COMPONENTES DE VARIANZA PARA CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE Y PESO AL PARTO DE VACAS HOLSTEIN Y PARDO SUIZO

Característica	Estimado <sup>a</sup>			
	$\sigma_a^2$	$\sigma_c^2$	$\sigma_e^2$	$\sigma_p^2$
Producción de leche por lactancia, kg <sup>2</sup>	108.596,3	47.076,4	232.048,6	387.721,2
Producción de leche por día, kg <sup>2</sup>	0,91158	0,345412	1,94134	3,19833
Producción de leche por día interparto, kg <sup>2</sup>	0,83529	0,000003	1,81379	2,64908
Eficiencia productiva, kg <sup>2</sup>	9,94102	0,000172	19,61342	29,55462
Duración de la lactancia, días <sup>2</sup>	1.053,11	0,000221	8.227,72	9.280,84
Peso de la vaca al parto, kg <sup>2</sup>	677,584	444,577	1.174,00	2.296,17
Duración de la gestación, días <sup>2</sup>	5,30529	0,00000	57,9822	63,2875

<sup>a</sup> $\sigma_a^2$  es la varianza genética aditiva directa,  $\sigma_c^2$  es la varianza del ambiente permanente de la vaca,  $\sigma_e^2$  es la varianza residual,  $\sigma_p^2$  es la varianza fenotípica.

**TABLA III**  
**ESTIMADOS DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE Y PESO AL PARTO DE VACAS HOLSTEIN Y PARDO SUIZO**

Característica	Estimado <sup>a</sup>			
	$h^2$	$r^2$	$c^2$	$e^2$
Producción de leche por lactancia	0,28 ± 0,077	0,40	0,12 ± 0,069	0,60 ± 0,035
Producción de leche por día	0,29 ± 0,076	0,40	0,11 ± 0,066	0,60 ± 0,035
Producción de leche por día interparto	0,32 ± 0,081	0,32	0,00 ± 0,067	0,68 ± 0,041
Eficiencia productiva	0,34 ± 0,083	0,34	0,00 ± 0,068	0,66 ± 0,043
Duración de la lactancia	0,11 ± 0,050	0,11	0,00 ± 0,047	0,89 ± 0,031
Peso de la vaca al parto	0,30 ± 0,083	0,49	0,19 ± 0,075	0,51 ± 0,033
Duración de la gestación	0,08 ± 0,057	0,08	0,00 ± 0,056	0,92 ± 0,035

<sup>a</sup>  $h^2$  es la heredabilidad directa,  $r^2$  es la repetibilidad,  $c^2$  es la varianza del ambiente permanente de la vaca como proporción de la varianza fenotípica,  $e^2$  es la varianza residual como proporción de la varianza fenotípica.

[26] obtuvieron estimados de repetibilidad (0,40 y 0,41, respectivamente) similares al del presente estudio; sin embargo, estos estimados estuvieron determinados en mayor proporción por el efecto del ambiente permanente, en contraste con lo encontrado en el presente trabajo.

Los estimados de heredabilidad (29%), repetibilidad (40%) y la varianza del ambiente permanente de la vaca como proporción de la varianza fenotípica (11%) para producción de leche por d fueron similares a los estimados correspondientes para producción de leche por lactancia. Deb y col. [10], en un estudio realizado con vacas de una raza sintética en Bangladesh, y Zamani y col. [35], en un estudio realizado con vacas Holstein en Turquía, encontraron que la producción de leche por d fue 26% heredable, de manera similar a lo encontrado en el presente estudio. En contraste, en un estudio realizado en Etiopía [11] con vacas de las razas Holstein y Jersey y sus cruces con Boran, se obtuvieron estimados de heredabilidad (19%) y repetibilidad (30%) para producción de leche por d 10 unidades porcentuales menores que los estimados del presente estudio. Esta diferencia se pudo deber a la diferencia en los genotipos evaluados; Holstein y Pardo Suizo en el presente estudio y Holstein y Jersey x Boran en el estudio etíope [11]. A diferencia de lo encontrado para producción de leche por lactancia y producción de leche por d, el ambiente permanente no influyó ( $\sigma_c^2 = 0 \text{ kg}^2$ ; TABLA II) sobre la producción de leche por d interparto, lo que indica que esta característica solo estuvo determinada por efectos genéticos aditivos. Los respectivos estimados de la varianza y heredabilidad fueron 0,83  $\text{kg}^2$  y 0,32. Este último estimado de heredabilidad es mayor que el reportado por Deb y col. [10], para vacas de una raza sintética (BCB-1) creada en Bangladesh (0,24), y por Facó y col. [13], para vacas Holstein brasileñas (0,21).

#### Duración de la lactancia

El estimado de heredabilidad para duración de la lactancia fue de baja magnitud (0,11), mientras que el efecto del am-

ambiente permanente fue prácticamente nulo ( $\sigma_c^2 = 0,000221 \text{ días}^2$ ; TABLA II). La ausencia del efecto del ambiente permanente sugiere que las secuelas o lesiones permanentes (e.g., pérdida de pezones o molares, lesiones pulmonares) derivadas de enfermedades o accidentes no afectaron la duración de la lactancia. En Australia, Visscher y Goddard [34] también obtuvieron bajos estimados de heredabilidad, con valores de 0,08 y 0,14 para vacas Holstein y Jersey puras, respectivamente. Similarmente, Demeke y col. [11] y Effa y col. [12] reportaron estimados de heredabilidad con valores de 0,13 y 0,14 para vacas Holstein y Jersey cruzadas. Por el contrario, para vacas Gyr brasileñas [2] y vacas Holstein pakistaníes [4] se han reportado estimados de heredabilidad más próximos a cero (0,03; 0,06), lo que sugiere que la duración de la lactancia es influenciada en una gran proporción por factores ambientales, siendo poco importantes los efectos aditivos de los genes.

#### Peso de la vaca al parto

El estimado de heredabilidad para peso al parto fue similar a los estimados de heredabilidad para las características relacionadas con la producción de leche. La magnitud del estimado de heredabilidad para peso de la vaca al parto obtenido en la presente investigación (0,30) sugiere la factibilidad de que dicha característica responda a la selección. En los ambientes tropicales y subtropicales donde la disponibilidad de recursos es escasa, la manipulación genética del peso al parto puede tener repercusiones favorables en la producción de leche, ya que el peso de la vaca tiene una alta correlación genética con los requerimientos nutricionales [1]. Algunos autores [17, 25, 31] han reportado estimados de heredabilidad para peso al parto similares al del presente trabajo; sin embargo, otros [9, 21] han sugerido que el peso de la vaca al parto es más heredable, reportando valores que van de 0,65 a 0,75. El estimado de repetibilidad para peso de la vaca al parto obtenido en el presente estudio (0,49) indica que dicha característica fue más repetible que las características relacionadas con la producción de leche. Choy y col. [8] también reportaron un es-

timado de repetibilidad alto (0,77), para peso de la vaca al parto, pero mayor que el encontrado en el presente trabajo.

### Eficiencia de la vaca

El análisis genético de la eficiencia de la vaca reveló que esta característica fue moderadamente heredable (0,34), lo que sugiere que es posible lograr que las vacas sean productivamente más eficientes en el hato bajo estudio a través de selección. En contraste con el presente hallazgo, Demeke y col. [11] encontraron que la eficiencia productiva fue bajamente heredable (0,17); dicha diferencia se pudo deber, parcialmente, a diferencias en los grupos genéticos evaluados, los cuales fueron puros (Holstein y Pardo Suizo) en el presente estudio y cruzados (Holstein y Jersey × Boran) en el trabajo realizado por Demeke y col. [11]. No se encontraron en la literatura científica más trabajos relacionados con la estimación de parámetros genéticos para eficiencia de la vaca medida en la forma propuesta por este último autor, lo que sugiere que son escasos.

### Duración de la gestación

El estimado de la varianza genética (5,3 d<sup>2</sup>; TABLA II) para duración de la gestación fue muy pequeño en relación con el estimado correspondiente de la varianza fenotípica total (63,3 d<sup>2</sup>; TABLA II), lo que resultó en un estimado de heredabilidad cercano a cero (0,08) para duración de la gestación. Además, como consecuencia de que el estimado de la varianza del ambiente permanente fue igual a cero, el estimado de repetibilidad fue igual al estimado de heredabilidad. Los estimados de heredabilidad reportados por Moore y col. [20], Petrovic y col. [27] y Van Raden y col. [33], también indican que esta característica es escasamente heredable, por lo que la respuesta a la selección podría ser nula o lenta.

### CONCLUSIONES

En general, los estimados de heredabilidad y repetibilidad para producción de leche y peso de la vaca al parto obtenidos en el presente trabajo son similares a los estimados de heredabilidad y repetibilidad reportados en la literatura científica. El estimado de heredabilidad para peso de la vaca al parto fue similar a los estimados de heredabilidad relacionados con la producción de leche, pero mayor que los estimados de heredabilidad para duración de la gestación y duración de la lactancia. El estimado de la varianza del ambiente permanente fue nulo para producción de leche por día interparto, duración de la lactancia, eficiencia de la vaca y duración de la gestación. Sin embargo, los resultados del presente estudio indican que existe suficiente variación genética para aumentar la producción de leche y su eficiencia en la población de vacas Holstein y Pardo Suizo evaluada, lo cual se podría lograr implementando un programa de selección. Bajo un esquema de selección fenotípica o masal y asumiendo que la intensidad de

selección es igual a 1, la respuesta esperada a la selección sería de 174 kg adicionales de leche por lactancia en la siguiente generación. Sin embargo, antes de implementar un programa de selección, es necesario conocer la magnitud y el tipo de asociación genética que existe entre las características evaluadas en el presente estudio, así como analizar otros factores (e.g., fertilidad, contenido de grasa y proteína en leche) que también influyen en la producción.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGEEB, A.G.; HAYES, J.F. Estimates of genetic parameters of feed intake and production in first lactation records of Holsteins. **Can. J. Anim. Sci.** 86:25-29. 2006.
- [2] ALBUQUERQUE, M.S.M.; FREITAS, M.A.R; TEODORO, R.L. Genetic and phenotypic parameters of productivity traits on the first three lactations in Gyr cattle herds. **Genet. Mol. Biol.** 22(2):177-181. 1999.
- [3] AL-SEAF, A.; KEOWN, J.F.; VAN VLECK, L.D. Genetic parameters for yield traits of cows treated or not treated with bovine somatotropin. **J. Dairy Sci.** 90:501-506. 2007.
- [4] BAKIR, G.; KAYGISIZ, A.; ULKER, H. Estimates of genetic parameters of milk yield in Brown Swiss and Holstein Friesian cattle. **Pak. J. Biol. Sci.** 7(7):1198-1201. 2004.
- [5] BOLDMAN, K.G.; KRIESE, L.A.; VAN VLECK, L.D.; VAN TASSELL, C.P.; KACHMAN, S.D. A manual for use of MTDFREML: A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (Draft). USDA. ARS. 114 pp. 1995.
- [6] BOLIGON, A.A.; RORATO, P.R.N.; FERREIRA, G.B.B.; WEBER, T.; KIPPERT, C.J.; ANDREAZZA, J. Herdabilidade e tendência genética para as produções de leite e de gordura em rebanhos da raça Holandesa no estado do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Zoot.** 34(5):1512-1518. 2005.
- [7] CHAN, E.K.F.; NAGARAJ, S.H.; REVERTER, A. The evolution of tropical adaptation: comparing Taurine and Zebu cattle. **Anim. Genet.** 41:467-477. 2010.
- [8] CHOY, Y.H.; BRINKS, J.S.; BOURDON, R.M. Repeated-measure animal models to estimate genetic components of mature weight, hip height, and body condition score. **J. Anim. Sci.** 80:2071-2077. 2002.
- [9] COFFEY, M.P.; HICKEY, J.; BROTHERSTONE, S. Genetic aspects of growth of Holstein-Friesian dairy cows from birth to maturity. **J. Dairy Sci.** 89:322-329. 2006.
- [10] DEB, G.K.; MUFTI, M.M.; MOSTARI, M.P.; HUQUE, K.S. Genetic evaluation of Bangladesh Livestock Research Institute Cattle Breed-1: Heritability and

- genetic correlation. **Bang. J. Anim. Sci.** 37(2):25-33. 2008.
- [11] DEMEKE, S.; NESER, F.W.C.; SCHOEMAN, S.J. Estimates of genetic parameters for Boran, Friesian, and crosses of Friesian and Jersey with the Boran cattle in the tropical highlands of Ethiopia: milk production traits and cow weight. **J. Anim. Breed. Genet.** 121:163-175. 2004.
- [12] EFFA, K.; WONDATIR, Z.; DESSIE, T.; HAILE, A. Genetic and environmental trends in the long-term dairy cattle genetic improvement programmes in the central tropical highlands of Ethiopia. **J. Cell Anim. Biol.** 5(6):96-104. 2011.
- [13] FACÓ, O.; LÔBO, R.N.B.; MARTINS-FILHO, R.; MARTINS, G.A.; OLIVEIRA, S.M.P.; AZEVÊDO, D.M.M.R. Efeitos genéticos aditivos e não-aditivos para características produtivas e reprodutivas em vacas mestiças Holandês × Gir. **Rev. Bras. Zoot.** 37(1):48-53. 2008.
- [14] FREITAS, F.A.; DURÃES, C.M.; VALENTE, J.; TEIXEIRA, M.N.; MARTINEZ, M.L.; MAGALHÃES, M.N. Parâmetros genéticos para produções de leite e gordura nas três primeiras lactações de vacas Holandesas. **Rev. Bras. Zoot.** 30(3):709-713. 2001.
- [15] GARCÍA, E. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.** Universidad Nacional Autónoma de México. Pp 109-110. 1988.
- [16] KADARMIDEEN, H.N. Genetic correlations among body condition score, somatic cell score, milk production, fertility and conformation traits in dairy cows. **Anim. Sci.** 79:191-201. 2004.
- [17] LEE, A.J.; BOICHARD, D.A.; McALLISTER, A.J.; LIN, C.Y.; NADARAJAH, K.; BATRA, T.R.; ROY, G.L.; VESELY, J.A. Genetics of growth, feed intake, and milk yield in Holstein cattle. **J. Dairy Sci.** 75:3145-3154. 1992.
- [18] LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D. SAS System for Mixed Models. SAS Inst., Inc. Cary, NC. 1996.
- [19] MONTALDO, H.H.; CASTILLO-JUÁREZ, H.; VALENCIA-POSADAS, M.; CIENFUEGOS-RIVAS, E.G.; RUIZ-LÓPEZ, F.J. Genetic and environmental parameters for milk production, udder health, and fertility traits in Mexican Holstein cows. **J. Dairy Sci.** 93:2168-2175. 2010.
- [20] MOORE, R.K.; KENNEDY, B.W.; SCHAEFFER, L.R.; MOXLEY, J.E. Relationships between reproduction traits, age and body weight at calving, and days dry in first lactation Ayrshires and Holsteins. **J. Dairy Sci.** 73:835-842. 1990.
- [21] MULLER, C.J.C.; CLOETE, S.W.P.; OLIVIER, J.J.; BOTHA, J.A.; DE WAAL, H. Heritability of live weight and condition score in a Holstein herd and correlations with milk traits – preliminary estimates. **S. Afri. J. Anim. Sci.** 36(2):79-88. 2006.
- [22] OJANGO, J.M.; POLLOTT, G.E. Genetics of milk yield and fertility traits in Holstein-Friesian cattle on large-scale Kenyan farms. **J. Anim. Sci.** 79:1742-1750. 2001.
- [23] PALACIOS-ESPINOSA, A.; RODRÍGUEZ-ALMEIDA, F.; JIMÉNEZ-CASTRO, J.; ESPINOZA-VILLAVICENCIO, J.L.; NÚÑEZ-DOMÍNGUEZ, R. Evaluación genética de un hato Holstein en Baja California Sur, utilizando un modelo animal con mediciones repetidas. **Agrocien.** 35:347-353. 2001.
- [24] PALACIOS-ESPINOZA, A.; ESPINOZA-VILLAVICENCIO, J.L.; GONZÁLEZ-PEÑA, D.; GUERRA-IGLESIAS, D.; DE LUNA-DE LA PEÑA, R.; RODRÍGUEZ-ALMEIDA, F. Estimation of covariance components for the first four lactations in Holstein cattle according to different models. **Zoot. Trop.** 25(1):9-18. 2007.
- [25] PARKE, P.; KENNEDY, B.W.; DEKKERS, J.C.M.; MOORE, R.K.; JAIRATH, L. Genetic and phenotypic parameter estimates between production, feed intake, feed efficiency, body weight and linear type traits in first lactation Holsteins. **Can. J. Anim. Sci.** 79:425-431. 1999.
- [26] PÉREZ-QUINTERO, G.A.; GÓMEZ-GIL, M.G. Factores genéticos y ambientales que afectan el comportamiento productivo de un rebaño Pardo Suizo en el trópico. 1. Producción de leche. **Rev. Cientif. FCV-LUZ.** XV(2): 141-147. 2005.
- [27] PETROVIĆ, M.M.; SRETENOVIĆ, L.J.; ALEKSIĆ, S.; PANTELIĆ, V.; NOVAKOVIĆ, Z.; PERIŠIĆ, P.; PETROVIĆ, M.D. Investigation of the heritability of phenotypes of fertility and milk performance of Simmental cattle breed in Serbia. **Biotechnol. Anim. Husb.** 25(5):285-292. 2009.
- [28] SAVAR SOFIA., S.; TAHERI DEZFULLI., B.; MIRZAEI, F. Interaction between genotype and climates for Holstein milk production traits in Iran. **Afr. J. Biotechnol.** 10(55):11582-11587. 2011.
- [29] SISTEMA INSTITUCIONAL DE MONITOREO AGROCLIMÁTICO. Datos climatológicos de la Sierra Nororiental del estado de Puebla. Estación Meteorológica Las Margaritas. **INIFAP.** 2007.
- [30] TANEJA, V.K.; BHAT, P.N. Milk and beef production in tropical environments. **3rd World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod.** Lincoln, 07/16-22., Nebraska, USA, 9:73-91. 1986.
- [31] VAL, J.E.; FREITAS, M.A.R.; OLIVEIRA, H.N.; CARDOSO, V.L.; MACHADO, P.F.; PANETO, J.C.C. Indicadores de desempenho em rebanho da raça Holandesa: Curvas de crescimento e altura, características reprodutivas,

- productivas e parâmetros genéticos. **Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.** 56(1):86-93. 2004.
- [32] VALENCIA-POSADAS, M.; MONTALDO-VALDENEGRO, H.H.; RUÍZ-LÓPEZ, F.J. Parámetros genéticos para características de conformación, habilidad de permanencia y producción de leche en ganado Holstein en México. **Téc. Pec. Méx.** 46(3):235-248. 2008.
- [33] VANRADEN, P.M.; SANDERS, A.H.; TOOKER, M.E.; MILLER, R.H.; NORMAN, H.D.; KUHN, M.T.; WIGGANS, G.R. Development of a national genetic evaluation for cow fertility. **J. Dairy Sci.** 87:2285-2292. 2004.
- [34] VISSCHER, P.M.; GODDARD, M.E. Genetic parameters for milk yield, survival, workability, and type traits for Australian dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 78:205-220. 1995.
- [35] ZAMANI, P.; MIRAEI-ASHTIANI, S.R.; MOHAMMADI, H. Genetic parameters of residual energy intake and its correlations with other traits in Holstein dairy cattle. **Turk. J. Vet. Anim. Sci.** 32(4):255-261. 2008.