

ANÁLISIS GENÉTICO DE CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE VACAS HOLSTEIN CRIADAS EN UN AMBIENTE SUBTROPICAL¹

Ángel Ríos-Utrera², René Carlos Calderón-Robles³, Jorge Víctor Rosete-Fernández³
Juvencio Lagunes-Lagunes⁴

RESUMEN

Análisis genético de características reproductivas de vacas Holstein criadas en un ambiente subtropical. El objetivo del presente trabajo fue estimar la heredabilidad y la repetibilidad de características reproductivas de vacas Holstein criadas en condiciones subtropicales. Se analizaron los registros de 171 hembras, las cuales fueron hijas de 67 sementales y 100 vacas. Las hembras nacieron de 1986 a 2006, en el sitio experimental Las Margaritas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Hueytamalco, Puebla, México. Los parámetros genéticos fueron estimados para el intervalo parto-primer calor, intervalo parto-primer servicio, número de servicios por concepción, días abiertos e intervalo entre partos. Los componentes de varianza para el intervalo parto-primer calor, intervalo parto-primer servicio, intervalo entre partos y días abiertos fueron estimados con un modelo animal de repetibilidad para una sola característica, mientras que los componentes de varianza para número de servicios por concepción fueron estimados con un modelo animal simple, el que sólo incluyó el efecto genético aditivo individual como efecto aleatorio. Las estimaciones de los componentes de varianza se hicieron mediante máxima verosimilitud restringida libre de derivadas, utilizando el programa MTDFREML. Las estimaciones de heredabilidad fueron bajas, de 0,01 (días abiertos) a 0,13 (intervalo entre partos), al igual que las de repetibilidad, que fueron de 0,11 (intervalo parto-primer servicio) a 0,16 (días abiertos). En general, los estimados de heredabilidad y repetibilidad obtenidos están dentro de los intervalos reportados en la literatura científica. La magnitud de los estimados indica que la respuesta directa a la selección para una sola característica sería lenta.

Palabras clave: Heredabilidad, repetibilidad, días abiertos, intervalo entre partos, ganado lechero.

ABSTRACT

Genetic analysis of fertility traits of Holstein cows reared in a subtropical environment. The objective of this work was to estimate the heritability and repeatability of reproductive traits of Holstein cows reared in subtropical conditions. Records from 171 cows were analyzed, which were daughters of 67 sires and 100 dams. The cows were born from 1986 to 2006, in Las Margaritas research station from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), in Hueytamalco, Puebla, Mexico. Genetic parameters were estimated for interval from calving to first registered heat, interval from calving to first registered service, number of services per conception, days open, and calving interval. Variance components for interval from calving to first registered heat, interval from calving to first registered service, days open, and calving interval were estimated with a single-trait repeatability animal model, while variance components for number of services per conception were estimated with a single-trait animal model, which included the direct additive genetic effect as a random effect. Variance components were estimated with derivative-free restricted maximum likelihood using the MTDFREML program. Estimates of heritability were low, from 0,01 (days open) to 0,13 (calving interval). Estimates of repeatability were also low, ranging from 0,11 (interval from calving to first registered service) to 0,16 (days open). In general, estimates of heritability and repeatability obtained are within the interval of estimates reported in the scientific literature. Estimates of genetic parameters indicate that direct response to one-trait selection would be slow.

Key words: Heredability, repeatability, days open, calving interval, dairy cattle.

¹ Recibido: 5 de enero, 2010. Aceptado: 22 de noviembre, 2010. Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación financiado por el Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Puebla, A. C. (CIPEP, A. C.), México.

² Campo Experimental La Posta, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 22.5 carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México. 94277. Teléfono: (285) 596-0111, rios.angel@inifap.gob.mx., ariosu@hotmail.com

³ Sitio Experimental Las Margaritas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 9.5 carretera Hueytamalco-Tenampulco, Hueytamalco, Puebla, México. 73580. Teléfono: (232) 118-8621, calderon.rene@inifap.gob.mx; rosete.jorge@inifap.gob.mx.

⁴ Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Puebla, A.C., km. 9.5 carretera Hueytamalco-Tenampulco, Hueytamalco, Puebla, México. 73580. Teléfono: (232) 118-8621.

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que la productividad de los hatos lecheros es disminuida debido a la baja fertilidad de las vacas (Boichard 1990), por lo que niveles aceptables de fertilidad son indispensables para el éxito de estos sistemas de producción. El número de becerros producidos, que también depende de la fertilidad de la vaca, es un factor importante que influye sobre la producción de vaquillas de reemplazo. Además, se ha encontrado que el comportamiento reproductivo de vacas lecheras empeora a medida que su producción de leche aumenta (Seykora y McDaniel 1983, Faust *et al.* 1989). Muy probablemente, las vacas que producen más leche sufren un mayor estrés, lo que puede afectar su fertilidad. Además, el estrés climático es mayor en áreas tropicales y subtropicales que en regiones con clima templado.

Cuando la eficiencia reproductiva ha sido medida como el número de servicios por concepción, días abiertos o intervalo entre partos, el estimado de la varianza genética aditiva ha sido de baja magnitud, según lo demuestran los estudios realizados por Dematawewa y Berger (1998), Abdallha y McDaniel (2000), Ojango y Pollott (2001), Demeke *et al.* (2004) y Núñez (2006). En consecuencia, también se ha reportado que los estimados de heredabilidad son de baja magnitud, lo que sugiere que la respuesta directa a la selección para una sola característica es lenta. Martí y Funk (1994), Veerkamp *et al.* (2001) y Haile-Mariam *et al.* (2003) reportaron estimados de heredabilidad para días abiertos, número de servicios por concepción e intervalo entre partos menores a 0,05.

A pesar de la importancia económica de las características reproductivas de las vacas lecheras, muy pocos trabajos se han realizado en México con la intención de estudiar las propiedades genéticas de tales características, menos frecuentes son aún los estudios que se han realizado en condiciones tropicales y subtropicales de México con esta misma intención (e.g., Estrada-León *et al.* 2006, Núñez 2006). La realización de este tipo de estudios es importante, ya que la heredabilidad tiende a disminuir cuando el ambiente es hostil o las condiciones de producción no son adecuadas. Por otro lado, los estimados de heredabilidad y repetibilidad son específicos de las poblaciones o subpoblaciones evaluadas, aunque pueden ser usados como valores de referencia en la estimación de la heredabilidad y la

repetibilidad de otras poblaciones o subpoblaciones de la misma o de diferente raza.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como propósito estimar los componentes de la varianza fenotípica total (varianza genética aditiva, del ambiente permanente, temporal), la heredabilidad y la repetibilidad de características reproductivas de vacas Holstein criadas 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). El sitio experimental está ubicado en el Municipio de Hueytamalco, en la sierra nororiente del estado de Puebla, México, a 500 msnm. Presenta un clima subtropical húmedo semicálido Af(c). 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. 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.

Población de estudio

Para la realización del presente trabajo, se utilizó un total de 171 hembras de la raza Holstein, las cuales fueron producidas con 67 sementales y 100 vacas. Los sementales fueron usados a través de inseminación artificial (principalmente) y monta natural. Las hembras nacieron en un periodo de 20 años, de 1986 a 2006, en el sitio experimental Las Margaritas.

Manejo reproductivo

El manejo reproductivo de las vaquillas se inició cuando 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 para determinar la existencia de posibles problemas reproductivos. La

detección de calores (estros) se realizó en la mañana de 06:00 a 07:00 horas, y otra en la tarde de 17:00 a 18:00 horas, 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 días posteriores a la última inseminación.

Alimentación

Las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional en potreros con zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). Los períodos de ocupación de los potreros fueron de dos a tres días, y los de descanso fueron de 35 a 40 días, dependiendo de la época del año, con una carga animal de 2,5 unidades animal por hectárea al año. Durante la época de estiaje (noviembre a marzo), las vacas recibieron individualmente entre 20 y 30 kg diarios de Caña Japonesa (*Saccharum sinense*), fresca y picada. 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 día, mientras que las vacas secas recibieron 2 kg del mismo tipo de alimento por día.

Características analizadas

Los parámetros genéticos fueron estimados para cinco características reproductivas: 1) intervalo parto-primer calor, que se definió como el número de días que transcurrieron del parto al primer calor registrado; 2) intervalo parto-primer servicio, definido como el número de días que transcurrieron desde el parto a la primera inseminación registrada; 3) número de servicios por concepción; 4) días abiertos, que se definió como el número de días que transcurrieron del parto a la concepción; y 5) intervalo entre partos, medido como el número de días que transcurrieron entre un parto y el siguiente.

Estadísticas descriptivas

Para la edición de la información, el intervalo entre partos se limitó de 300 a 550 días, eliminando los

registros que se encontraban fuera de éste. Intervalos menores a 300 días probablemente indican aborto, mientras que mayores a 550 días podrían indicar una duración anormal de la lactancia. El intervalo parto-primer servicio y los días abiertos fueron restringidos de 21 a 250 días, ya que valores fuera de éste pudieron ser fisiológicamente anormales o registrados erróneamente.

Las estadísticas descriptivas y parte de la estructura de la información, por característica, después de haber aplicado estos criterios de edición, se presentan en el Cuadro 1. El intervalo del número de registros analizados para las características evaluadas fue de 382 (para intervalo entre partos) a 570 (para intervalo parto-primer calor). En promedio, 73,5 días después del parto las vacas estuvieron aptas para ser inseminadas por primera vez, con un intervalo entre dos partos consecutivos de alrededor de 387 días. El número de hijas con registros útiles varió de 132 a 171. El pedigree fue el mismo para todas las características estudiadas y consistió de 294 animales, incluyendo padres sin genealogía y madres sin registros reproductivos ni genealógicos.

Estructura de la información

El número de sementales que tuvieron de una hasta diez hijas para las características con el mayor (intervalo parto-primer calor) y el menor número de registros (intervalo entre partos) se presenta en el Cuadro 2. En el caso del intervalo parto-primer calor, 58,2 % (n=39) del total de sementales utilizados tuvo dos hijas o más, mientras que 41,8 % (n=28) de los sementales tuvo una sola hija. Para intervalo entre partos, 57,1 % (n=32) de los sementales tuvo dos hijas o más, mientras que 42,9 % (n=24) de los sementales tuvo una sola hija. El número promedio de hijas con registros por semental fue de 2,5 y 2,4, para intervalo parto-primer calor e intervalo entre partos, respectivamente.

Análisis estadísticos

Análisis preliminares

Antes de la estimación de los parámetros genéticos, se realizaron análisis estadísticos preliminares para cada característica reproductiva con el fin de

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas para características reproductivas de vacas Holstein nacidas de 1986 a 2006 en condiciones subtropicales en Hueytamalco, Puebla, México.

	Característica*				
	IPPC	IPPS	IEP	NS	DA
Número de observaciones	570	563	382	544	468
Media	67,6	73,5	387	2,18	102
Desviación estándar	46,1	46,1	57,6	1,41	53,9
Coeficiente de variación	68,2	62,7	14,9	64,7	52,6
Mínimo	8	21	301	1	26
Máximo	250	250	549	7	250
Número de hijas	171	169	132	159	152
Número de sementales	67	67	56	64	61
Número de madres	100	99	87	94	90
Número de animales en el pedigrí	294	294	294	294	294

* IPPC= intervalo parto-primer calor (días); IPPS= intervalo parto-primer servicio (días); IEP= intervalo entre partos (días); NS= número de servicios por concepción; DA= días abiertos.

Cuadro 2. Número de sementales que tuvieron de una hasta diez hijas, para las características con el mayor (intervalo parto-primer calor) y el menor número de registros (intervalo entre partos), en un hato de vacas Holstein nacidas de 1986 a 2006 en Hueytamalco, Puebla, México.

Característica	No. de sementales	No. de hijas	No. total de hijas
Intervalo parto-primer calor	28	1	28
	19	2	38
	6	3	18
	3	4	12
	4	5	20
	2	6	12
	2	7	14
	1	9	9
	2	10	20
Total	67		171
Intervalo entre partos	24	1	24
	16	2	32
	6	3	18
	2	4	8
	3	5	15
	1	6	6
	3	7	21
	1	8	8
Total	56		132

determinar qué efectos fijos eran fuentes de variación importantes, para lo cual se utilizó el procedimiento Mixed de SAS (Statistical Analysis System; Littell *et al.* 1996). Los efectos fijos incluidos en el modelo completo fueron año de parto (1990, 1991,..., 2007), época de parto (noviembre-febrero; marzo-junio; julio-octubre), la interacción que se deriva de estos dos efectos principales, y la edad de la vaca al parto como covariante, en forma lineal y cuadrática. Además, el modelo completo preliminar incluyó el efecto aleatorio del semental.

Para determinar los modelos definitivos, se realizaron análisis secuenciales para cada característica, removiendo del modelo completo la interacción y/o las covariables que no resultaban significativas a una $P < 0,05$. Los modelos definitivos que resultaron de estos análisis preliminares sólo incluyeron el año y la época de parto, así como el efecto aleatorio del semental, para todas las características reproductivas analizadas.

Análisis univariados con máxima verosimilitud restringida

Los componentes de varianza para intervalo parto-primer calor, intervalo parto-primer servicio, intervalo entre partos y días abiertos 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. Por otro lado, los componentes de varianza para número de servicios por concepción fueron estimados con un modelo animal simple, pues en análisis previos se encontró que los efectos del ambiente permanente de la vaca fueron nulos para esta característica.

Las estimaciones de los componentes de varianza se hicieron por medio de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas (Smith y Graser 1986), utilizando el programa MTDFREML (Boldman *et al.* 1995). El modelo animal simple incluyó los efectos fijos de año y época de parto, así como el efecto genético aditivo individual. El modelo de repetibilidad incluyó, además, el efecto del ambiente permanente de la vaca, el cual fue considerado como un efecto aleatorio no correlacionado.

El modelo animal de repetibilidad se describe de la siguiente manera:

$$Y = X\beta + Z_a a + Z_p p + e$$

donde

Y es el vector de registros,

β es el vector de efectos fijos (año de parto y época de parto),

a es un vector desconocido de efectos aleatorios genéticos aditivos directos,

p 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_p son matrices conocidas de incidencia que relacionan los registros con β, a y p , respectivamente.

Los valores esperados (E) y las varianzas (V) para los efectos aleatorios del modelo de repetibilidad fueron:

$$E \begin{bmatrix} a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad y \quad V \begin{bmatrix} a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_{N_v}\sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & I_N\sigma_e^2 \end{bmatrix},$$

donde

A es la matriz de Wright de parentescos aditivos entre todos los animales en el pedigree,

σ_a^2 es la varianza genética aditiva directa,

σ_p^2 es la varianza del ambiente permanente de la vaca,

σ_e^2 es la varianza del ambiente temporal,

I_{N_v} es una matriz identidad de tamaño igual al número de vacas,

I_N es una matriz identidad de tamaño igual al número de observaciones.

Para número de servicios por concepción, el modelo mixto no incluyó Z_p , mientras que la estructura de varianzas no incluyó $V[p]$.

Valores preliminares, convergencia y errores estándar

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^{-8} . Después de que el programa convergió por primera vez, se realizaron varios reinicios para verificar que la convergencia no se efectuó en un mínimo local, sino en un máximo global.

Los estimados de heredabilidad y repetibilidad fueron obtenidos a partir de los estimados de los componentes de varianza. La heredabilidad se estimó como la proporción de la varianza fenotípica debida a la varianza genética aditiva. La repetibilidad se estimó como la suma del estimado de la varianza genética aditiva y el estimado de la varianza del ambiente permanente como proporción de la varianza fenotípica.

Los errores estándar de los estimados de heredabilidad fueron aproximados y se estimaron usando la matriz de información promedio (Johnson y Thompson 1995) y el Método Delta (Dodenhoff *et al.* 1998). Por el contrario, el programa MTDFREML no estima el error estándar para la repetibilidad, debido a que no estima directamente este parámetro genético. Por esta razón, no se proporcionan los errores estándar de la repetibilidad en el presente trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estimados de la varianza genética aditiva fueron mayores que los de la varianza del ambiente permanente, excepto para días abiertos. Para esta

característica, el estimado de la varianza genética aditiva fue mucho menor que el de la varianza del ambiente permanente (Cuadro 3).

Intervalo parto-primer calor

Heredabilidad

Junto con el intervalo entre partos, el intervalo parto-primer calor fue una de las características más heredables en el presente trabajo. Al parecer, existen pocos estudios que reportan estimados de heredabilidad para el intervalo del parto al primer calor registrado, pues sólo se encontró un estudio con este tipo de información en la literatura científica. Núñez (2006), al analizar información de vacas cruzadas Holstein, Simmental y Pardo Suizo x Cebú, mantenidas en un ambiente tropical, obtuvo una heredabilidad muy similar a la obtenida en el presente trabajo (0,14 vs 0,13).

Repetibilidad

El estimado de la repetibilidad para el intervalo parto-primer calor fue un poco mayor que el estimado de la heredabilidad. Este resultado indica que los efectos del ambiente permanente de la vaca fueron menos importantes, es decir, de menor magnitud que los efectos genéticos aditivos, pues el estimado de la varianza del ambiente permanente como proporción del estimado de la varianza fenotípica fue 0,02. De manera similar a la escasa disponibilidad de estimados de heredabilidad para el intervalo parto-primer calor,

al parecer, también los estimados de repetibilidad son escasos en la literatura científica. El único estimado de repetibilidad para el intervalo parto-primer calor encontrado en la literatura consultada fue el reportado por Núñez (2006), para ganado de doble propósito, el cual es similar al encontrado en el presente trabajo, con un valor de 0,18.

Intervalo parto-primer servicio

Heredabilidad

El estimado de la heredabilidad directa para intervalo parto-primer servicio fue cercano a cero, indicando que esta característica es escasamente heredable. El estimado de heredabilidad obtenido en el presente estudio es similar a los estimados de heredabilidad (0,05, 0,06, 0,07) obtenidos por otros autores (Silva *et al.* 1992, Weigel y Rekaya 2000, Veerkamp *et al.* 2001) con ganado lechero Estadounidense y Holandés. Por el contrario, el presente estimado de heredabilidad es un poco menor que el estimado de heredabilidad (0,10) reportado en hembras Holstein (Schnyder y Stricker 2002) criadas en Suiza, y que el estimado (0,11) reportado en hembras cruzadas con diferentes proporciones de genes Holstein, Pardo Suizo y Simmental, mantenidas en condiciones tropicales de México (Núñez 2006). Por otro lado, el estimado de heredabilidad (0,03) para intervalo parto-primer servicio obtenido por Hayes *et al.* (1992) fue el de menor magnitud encontrado en la literatura, el cual es un poco menor que el reportado en el presente trabajo.

Cuadro 3. Estimados de parámetros genéticos para características reproductivas de vacas Holstein nacidas de 1986 a 2006 en condiciones subtropicales en Hueytamalco, Puebla, México.

Característica	V _a	V _{pe}	V _t	h ²	c ²	r
Intervalo parto-primer calor	263,2	41,9	2,058	0,13 ± 0,08	0,02 ± 0,07	0,15
Intervalo parto-primer servicio	121,7	115,2	2,062	0,06 ± 0,06	0,05 ± 0,07	0,11
Intervalo entre partos	408,4	0,0005	3,128	0,13 ± 0,11	0,00 ± 0,09	0,13
Número de servicios	0,05	-	1,84	0,03 ± 0,04	-	-
Días abiertos	15,9	419,6	2,690	0,01 ± 0,07	0,16 ± 0,09	0,16

^aV_a= estimado de la varianza genética aditiva; V_{pe}= estimado de la varianza del ambiente permanente; V_t= estimado de la varianza fenotípica; h²= estimado de la heredabilidad; c²= estimado de la varianza del ambiente permanente como proporción de la varianza fenotípica; r= estimado de la repetibilidad.

Repetibilidad

El valor estimado de la repetibilidad para el intervalo parto-primer servicio fue bajo. La comparación del valor de repetibilidad estimado en el presente trabajo para el intervalo parto-primer servicio con el estimado de heredabilidad para esta misma característica, indica que los efectos del ambiente permanente de la vaca fueron casi tan importantes como los efectos genéticos aditivos. Por otro lado, el estimado de repetibilidad (0,17) obtenido por Núñez (2006) es un poco mayor que el obtenido en el presente estudio. Sin embargo, en ese trabajo los efectos del ambiente permanente fueron de menor magnitud que los efectos genéticos aditivos (194 vs 341 días²). En un estudio previo realizado en Florida (Silva *et al.* 1992), se encontró un estimado de repetibilidad para intervalo parto-primer servicio de 0,05, el cual se debió en mayor proporción a efectos genéticos aditivos que a efectos del ambiente permanente, lo cual también contrasta con el resultado obtenido en el presente trabajo, en el cual la magnitud de los efectos del ambiente permanente fue muy similar a la de los efectos genéticos aditivos.

Intervalo entre partos

Heredabilidad

Al igual que el intervalo parto-primer calor, el intervalo entre partos fue un poco más heredable que el resto de las características reproductivas, con un estimado de heredabilidad cercano al 15%. Estimados de heredabilidad similares al encontrado en el presente trabajo, han sido obtenidos con diferentes razas lecheras (Holstein, Simmental, Jersey y Pardo Suizo) en Estados Unidos de América (Campos *et al.* 1994), Eslovenia (Potocnik *et al.* 2001), Brasil (Val *et al.* 2004) y México (Estrada-León *et al.* 2006), donde se ha estimado que la heredabilidad para el intervalo entre partos va de 0,10 a 0,11. Por el contrario, las estimaciones de heredabilidad obtenidas por Silva *et al.* (1992), Ojango y Pollott (2001), Veerkamp *et al.* (2001) y Núñez (2006) son más cercanas a cero (0,05, 0,05, 0,04 y 0,05, respectivamente), indicando que la respuesta directa a la selección del intervalo entre partos sería muy lenta en un programa de mejoramiento genético.

Repetibilidad

El estimado de la repetibilidad para el intervalo entre partos fue similar al estimado de la heredabilidad para esta misma característica. El estimado de la varianza del ambiente permanente para el intervalo entre partos fue muy cercano a cero, por lo que el estimado de la repetibilidad fue prácticamente igual al estimado de la heredabilidad. En un trabajo realizado en Etiopía (Demeke *et al.* 2004) con Boran, Holstein Friesian y cruzas de Holstein Friesian y Jersey con Boran se obtuvo un estimado de repetibilidad (0,14) muy similar al obtenido en el presente trabajo. Sin embargo, el estimado de la varianza del ambiente permanente obtenido en este estudio africano fue de 601 días². Otros investigadores africanos (Ojango y Pollott 2001), por el contrario, encontraron un estimado de la repetibilidad de 0,06 y de la varianza del ambiente permanente de 72 días².

Número de servicios por concepción

Heredabilidad

El análisis genético del número de servicios por concepción indica que esta característica, de manera similar a las otras analizadas, también es escasamente heredable. El estimado de heredabilidad obtenido en el presente estudio para número de servicios por concepción es similar al obtenido por otros autores (Raheja *et al.* 1989, Dematawewa y Berger 1998, Veerkamp *et al.* 2001, Haile-Mariam *et al.* 2003, Estrada-León *et al.* 2006), quienes reportaron estimados de heredabilidad de 0,04, 0,03, 0,03, 0,03 y 0,04, respectivamente. En un análisis previo se determinó que los efectos del ambiente permanente de la vaca fueron nulos para número de servicios por concepción, por lo que no se obtuvieron estimados de repetibilidad para esta característica.

Días abiertos

Heredabilidad

De todas las características analizadas, días abiertos mostró ser la menos heredable. De manera similar, Hoeschele (1991) y Abdallah y McDaniel (2000), en

vacas Holstein criadas en Estados Unidos de América, encontraron que el estimado de heredabilidad para días abiertos fue cercano a cero (0,02 y 0,03, respectivamente). Por su parte, Hayes (1992), Silva *et al.* (1992), Campos *et al.* (1994) y Pereira *et al.* (2000) reportaron un estimado de heredabilidad del 5%, el cual, aun cuando es mayor que el encontrado en el presente trabajo, es también de baja magnitud.

Repetibilidad

El estimado de repetibilidad para días abiertos obtenido en el presente trabajo fue cercano al 15%, el cual se debió principalmente a efectos del ambiente permanente, más que a efectos genéticos aditivos (Cuadro 3). De manera similar, Estrada-León *et al.* (2006) encontraron un estimado de repetibilidad para días abiertos del 19%, pero con vacas Pardo Suizo mantenidas en clima tropical en el estado de Yucatán, México. Por el contrario, Pereira *et al.* (2000) informaron que los efectos del ambiente permanente fueron de mayor magnitud que los efectos genéticos aditivos en vacas Holstein brasileñas, reportando un estimado de repetibilidad para días abiertos de 0,06. Por su parte, Silva *et al.* (1992), Martí y Funk (1994) y Dematawewa y Berger (1998) obtuvieron estimados de repetibilidad intermedios con valores de 0,12, 0,14 y 0,11, respectivamente. Los efectos del ambiente permanente de la vaca fueron de menor importancia que los efectos genéticos aditivos directos para intervalo entre partos, intervalo parto-primer calor, e intervalo parto-primer servicio, pero sucedió exactamente lo contrario para días abiertos. Para esta última característica, los efectos genéticos aditivos fueron de menor magnitud que los del ambiente permanente.

Las pequeñas diferencias encontradas entre los estimadores de heredabilidad y repetibilidad para días abiertos del presente trabajo y los estimadores reportados en la literatura científica pueden deberse a diferencias en raza, número de observaciones, errores de muestreo, origen de la información (experimental o de campo), ambiente y manejo. Aun con estas diferencias y con el reducido número de observaciones disponibles para el presente trabajo, lo cual se refleja en los errores estándar de los estimadores de los parámetros genéticos, los resultados obtenidos con hembras de la raza Holstein en condiciones subtropicales confirman que las características reproductivas tienen una baja repetibilidad y, por ende, una baja heredabilidad.

Finalmente, se esperaría que la respuesta directa a la selección para días abiertos, o para cualquier otra característica aquí analizada, fuera lenta en un programa de mejoramiento genético, ya que todas las características estuvieron determinadas en una mayor proporción por factores ambientales temporales, que por factores genéticos. Esto último implica que bajo ciertos sistemas de producción, como el de doble propósito (producción de leche y becerros), el mejoramiento genético de este tipo de características podría ser más apropiado y factible mediante esquemas de cruzamiento que a través de selección.

LITERATURA CITADA

- Abdallah, JM; McDaniel, BT. 2000. Genetic parameters and trends of milk, fat, days open, and body weight after calving in North Carolina experimental herds. *Journal of Dairy Science* 83: 1364-1370.
- Boichard, D. 1990. Estimation of the economic value of conception rate in dairy cattle. *Livestock Production Science* 24: 187-204.
- Boldman, KG; Kriese, LA; Van Vleck, LD; Van Tassell, CP; Kachman, SD. 1995. A manual for use of MTDFREML: A set of programs to obtain estimates of variances and covariances [Draft]. ARS, USDA, Washington, DC.
- Campos, MS; Wilcox, CJ; Becerril, CM; Diz, A. 1994. Genetic Parameters for yield and reproductive traits of Holstein and Jersey cattle in Florida. *Journal of Dairy Science* 77:867-873.
- Dematawewa, CMB; Berger, PJ. 1998. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in Holsteins. *Journal of Dairy Science* 81: 2700-2709.
- Demeke, S; Neser, FWC; Schoeman, SJ. 2004. Estimates of genetic parameters for Boran, Friesian and crosses of Friesian and Jersey with the Boran cattle in the tropical highlands of Ethiopia: reproduction traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 121:57-65.
- Dodenhoff, J; Van Vleck, LD; Kachman, SD; Koch, RM. 1998. Parameter estimates for direct, maternal, and grandmaternal genetic effects for birth weight and weaning weight in Hereford cattle. *Journal of Animal Science* 76: 2521-2527.
- Estrada-León, R; Magaña, J; Segura, JC. 2006. Genetic parameters for some reproductive traits of Brown Swiss cows in the tropics of Mexico. *Proceedings of the 8th*

- World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, MG, Brasil [CD-ROM].
- Faust, MA; McDaniel, BT; Robison, OW. 1989. Genetics of reproduction in primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Science* 72:194-201.
- Haile-Mariam, M; Morton, JM; Goddard, ME. 2003. Estimates of genetic parameters for fertility traits of Australian Holstein-Friesian cattle. *Animal Science* 76:35-42.
- Hayes, JF; Cue, RI; Monardes, HG. 1992. Estimates of repeatability of reproductive measures in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science* 75:1701-1706.
- Hoeschele, I. 1991. Additive and nonadditive genetic variance in female fertility of Holsteins. *Journal of Dairy Science* 74:1743-1752.
- Johnson, DL; Thompson, R. 1995. Restricted maximum likelihood estimation of variance components for univariate animal models using sparse matrix techniques and average information. *Journal of Dairy Science* 78:449-456.
- Littell, RC; Milliken, GA; Stroup, WW; Wolfinger, RD. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst., Inc. Cary, NC.
- Marti, CF; Funk, DA. 1994. Relationship between production and days open at different levels of herd production. *Journal of Dairy Science* 77:1682-1690.
- Núñez, SSG. 2006. Estimación de efectos genéticos para características reproductivas en poblaciones multirraciales de bovinos de doble propósito en el trópico húmedo de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Distrito Federal, México, Universidad Nacional Autónoma de México. 89 p.
- Ojango, JMK; Pollott, GE. 2001. Genetics of milk yield and fertility traits in Holstein-Friesian cattle on large-scale Kenyan farms. *Journal of Animal Science* 79:1742-1750.
- Pereira, IG; Gonçalves, TM; Oliveira, AIG; Teixeira, NM. 2000. Fatores de variação e parâmetros genéticos dos períodos de serviço e seco em bovinos da raça Holandês no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29(4):1005-1013.
- Potočnik, K; Krsnik, J; Stepec, M; Dolinar, A. 2001. Developments in prediction of breeding values in Slovenia. *Interbull Bulletin* 27:107-111.
- Raheja, KL; Burnside, EB; Schaeffer, LR. 1989. Relationships between fertility and production in Holstein dairy cattle in different lactations. *Journal of Dairy Science* 72:2670-2678.
- Schnyder, U; Stricker, C. 2002. Genetic evaluation for female fertility in Switzerland. *Interbull Bulletin* 29:138-141.
- Seykora, AJ; McDaniel, BT. 1983. Heritabilities and correlations of lactation yields and fertility for Holsteins. *Journal of Dairy Science* 66:1486-1493.
- Silva, HM; Wilcox, CJ; Thatcher, WW; Becker, RB; Morse D. 1992. Factors affecting days open, gestation length, and calving interval in Florida dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 75:288-293.
- Smith, SP; Graser, HU. 1986. Estimating variance components in a class of mixed models by restricted maximum likelihood. *Journal of Dairy Science* 69:1156-1165.
- Val, JE; Freitas, MAR; Oliveira, HN; Cardoso, VL; Machado, PF; Paneto, JCC. 2004. Indicadores de desempenho em rebanho da raça Holandesa: curvas de crescimento e altura, características reproductivas, productivas e parâmetros genéticos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 56:86-93.
- Veerkamp, RF; Koenen, EPC; De Jong, G. 2001. Genetic correlations among body condition score, yield, and first-parity cows estimated by random regression models. *Journal of Dairy Science* 84:2327-2335.
- Weigel, KA; Rekaya, R. 2000. Genetic parameters for reproductive traits of Holstein cattle in California and Minnesota. *Journal of Dairy Science* 83:1072-1080.

