

HEREDABILIDAD DE CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE VACAS INDUBRASIL¹

Ángel Ríos-Utrera², Víctor Delio Hernández-Hernández², Eugenio Villagómez Amezcua-Manjarréz³,
Juan Prisciliano Zárate-Martínez²

RESUMEN

Heredabilidad de características reproductivas de vacas Indubrasil. El objetivo del presente trabajo fue estimar componentes de varianza y parámetros genéticos de características reproductivas de vacas Indubrasil mantenidas en clima tropical húmedo en México. El estudio se realizó en el sitio experimental Playa Vicente (Veracruz, México) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con vacas Indubrasil (N=264) nacidas de 1974 a 2004. Las vacas se empadronaron dos veces al año, en primavera y otoño. Los empadres iniciaban el 1 de abril y 1 de octubre, y finalizaban el 30 de junio y 30 de noviembre, respectivamente. La edad al primer servicio (EPS), edad al primer parto (EPP), duración de la gestación (DG), días abiertos (DA), intervalo entre partos (IEP), servicios por concepción (SPC) y peso al parto (PP) se analizaron con un modelo animal que solo incluyó el efecto genético aditivo, mientras que PP se analizó con un modelo animal de repetibilidad que incluyó el efecto genético aditivo y el efecto del ambiente permanente de la vaca. Los análisis se realizaron con el programa MTDFREML. Los estimadores de heredabilidad fueron: 0.31 ± 0.152 , 0.39 ± 0.196 , 0.08 ± 0.033 , 0.03 ± 0.028 , 0.13 ± 0.056 , 0.03 ± 0.027 y 0.49 ± 0.098 para EPS, EPP, DG, DA, IEP, SPC y PP, respectivamente. El ambiente permanente de la vaca solo explicó el 2% de la variación total de PP, por lo que el estimador de repetibilidad para dicha característica fue 0.51. La edad a primer servicio, EPP, IEP y PP mostraron considerable variación genética, por lo que podrían ser consideradas en un programa de selección.

Palabras clave: índice de herencia, fertilidad en vacas, Cebú.

ABSTRACT

Heritability of fertility traits of Indubrasil cows. The objective of this study was to estimate variance components and genetic parameters for age at first service (AFS), age at first calving (AFC), gestation length (GL), days open (DO), calving interval (CI), services per conception (SPC) and cow weight at calving (CW) of Indubrasil cows (N=264) born from 1974 to 2004. The study was carried out at the Playa Vicente research station (Veracruz, México) from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). The cows were bred twice a year, in spring and autumn. The breeding seasons initiated on April 1 and October 1, and ended on June 30 and November 30, respectively. Age at first service, AFC, GL, DO, CI and SPC were analyzed with an animal model that included the additive genetic effect, while CW was analyzed with a repeatability animal model that included the additive genetic effect and the permanent environmental effect of the cow. The analyses were carried out with the MTDFREML program. The estimates of heritability were: 0.31 ± 0.152 , 0.39 ± 0.196 , 0.08 ± 0.033 , 0.03 ± 0.028 , 0.13 ± 0.056 , 0.03 ± 0.027 and 0.49 ± 0.098 for AFS, AFC, GL, DO, CI, SPC and CW, respectively. The permanent environmental effect of the cow explained 2% of the total phenotypic variance of CW, hence the estimate of repeatability for this trait was 0.51. Age at first service, AFC, CI and CW showed substantial genetic variation; therefore, they could be considered in a selection program.

Keywords: heritability, fertility in cows, Zebu.

¹ Recibido: 7 de junio, 2013. Aceptado: 28 de octubre, 2013. Este trabajo formó parte de un proyecto de investigación financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

² Campo Experimental La Posta, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), kilómetro 22.5 carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México, 94277. Teléfono: +55 (229) 2622222. rios.angel@inifap.gob.mx, hernandez.delio@inifap.gob.mx, zarate.juan@inifap.gob.mx

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 15.5 carretera México-Toluca, Col. Palo Alto, Cuajimalpa, Distrito Federal, México, 05110. Teléfono: +55 (55) 36180800. villagomez.eugenio@inifap.gob.mx



INTRODUCCIÓN

En México, existen diferentes razas Cebú (*Bos indicus*) que son explotadas en los sistemas para producción de carne, entre las que se encuentran la Brahman, Guzerat, Gyr e Indubrasil, las cuales están distribuidas principalmente en las áreas tropicales. La raza Indubrasil es de origen brasileño y fue introducida a México entre los años 1945 y 1946. Debido a su gran aceptación, se distribuyó desde Yucatán, por toda la Costa del Golfo de México, hasta Coahuila y Nuevo León, en el norte de la República Mexicana. Es el resultado de cruzamientos entre Gyr y Guzerat, y en menor proporción Nelore. Sus principales características son su gran talla y sus largas orejas curvas. Su pelaje es gris en diferentes tonalidades, pero también puede ser rojo; en ambos casos sin manchas de otro color. En las zonas tropicales de México es muy valorada por productores de leche (doble propósito), ya que la utilizan para cruzarla con Pardo Suizo y, en menor proporción, con Holstein (AMCC 2013).

La explotación del ganado Cebú en las áreas tropicales de México y de otros países obedece a su resistencia natural a altas temperaturas, a los endo y ectoparásitos, y a su habilidad para aprovechar forraje de baja calidad (Chan *et al.* 2010). La raza Indubrasil es una de las dos razas Cebú para producción de carne más importantes en México, después de la Brahman (AMCC 2013), pero se desconoce la magnitud de la variabilidad genética que esta presente en las características de fertilidad.

Las características reproductivas de las vacas son económicamente importantes debido a los costos relacionados con el semen, la inseminación artificial, y a la diferencia en calidad y valor entre becerros procedentes de inseminación artificial y aquellos producto de inseminación natural; además, las hembras que se preñan con el primer servicio paren antes, teniendo mayor probabilidad de preñarse el siguiente año (Bormann *et al.* 2006). Conocer y estimar la variabilidad genética y otros parámetros genéticos es de vital importancia para la implementación de programas de selección, ya que permitiría obtener el valor genético del animal y crear de esta manera un índice de selección. El objetivo del presente trabajo fue estimar componentes de varianza y parámetros genéticos de características reproductivas de vacas Indubrasil mantenidas en clima tropical húmedo en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del ambiente

El presente estudio se realizó de abril de 1974 a septiembre de 2007, en el sitio experimental Playa Vicente, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El sitio experimental se encuentra localizado a 17° 19' latitud norte y 95° 41' longitud oeste, a 95 msnm, en el municipio de Playa Vicente, en el estado de Veracruz, México. El clima es tropical húmedo (Am), con temperatura y precipitación media anual de 26,8°C y 2200 mm, respectivamente.

Población de estudio

Se analizaron registros de 264 vacas de la raza Indubrasil nacidas entre 1974 a 2004, producto del cruzamiento entre 31 sementales y 193 hembras. Los cruces se realizaron a través de inseminación artificial (principalmente) y monta natural.

Manejo de los animales

Las vacas se mantuvieron en una superficie de 70 hectáreas y distribuidas en potreros de 1,5 - 2,5 hectáreas cada uno. El pastoreo fue rotacional con pastos introducidos: Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Señal (*Brachyaria decumbens*), Insurgente (*Brachyaria brizantha*) y Mombasa (*Panicum maximum*), mientras que en las partes bajas e inundables los potreros contenían Pará (*Brachyaria mutica*) y Alemán (*Echinochloa polystachya*).

Quince días previos al inicio del empadre y hasta finalizar este, las vaquillas recibían un kilogramo por día de un suplemento que contenía 16 a 18% de proteína cruda, 2,8 Mcal de energía metabolizable y 70% de nutrientes digestibles totales. Por su parte, las vacas recibían 2 kg/día del mismo alimento, un mes antes del parto y hasta finalizar el empadre.

Se realizaron dos empadres al año; uno en primavera (1 abril - 30 junio) y otro en otoño (1 octubre - 30 noviembre). Primero, las vaquillas ingresaron al empadre 15 días antes que las vacas. Posteriormente, se observó el celo de las hembras durante la mañana (6:30 - 7:30 am) y la tarde (4:30 - 5:30 pm). Aproximadamente 12 horas después de identificado el celo

con ayuda de un toro con pene desviado, se realizó la inseminación artificial. Por último, a los 45-60 días de finalizado el empadre se realizó el diagnóstico de gestación de las vacas y vaquillas, mediante palpación rectal.

Del nacimiento al destete, los becerros fueron criados con amamantamiento restringido, el cual duró una hora en la mañana (07:00 - 08:00 a.m.) y una hora en la tarde (05:00 - 06:00 p.m.). El resto del día los becerros se mantuvieron en pastoreo rotacional de zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). El destete se realizó aproximadamente a los siete meses de edad. Quince días antes y 30 días después del destete, los becerros fueron suplementados con 1 kg/bece-
rro/día de alimento concentrado con 18% de proteína cruda, 70% de nutrientes digestibles totales y 2,7 Mcal energía metabolizable por kilogramo de materia seca.

Características estudiadas

Las características que se analizaron son: 1) edad al primer servicio, calculada como el número de días que transcurrieron del nacimiento al primer servicio registrado; 2) edad al primer parto, definida como el número de días que transcurrieron desde el nacimiento al primer parto; 3) duración de la gestación, calculada como el número de días que transcurrieron de la gestación al parto; 4) días abiertos, que se definió como los días que transcurrieron del parto a la concepción; 5) intervalo entre partos, medido como el número de días que transcurrieron entre dos partos consecutivos; 6) servicios por concepción, definido como el número de inseminaciones requeridas para que la hembra quedara gestante; y 7) peso de la vaca al parto.

Análisis estadísticos

Modelo animal en notación matricial

Para la estimación de los componentes de varian-
za y parámetros genéticos de edad al primer servicio, edad al primer parto, duración de la gestación, días abiertos, intervalo entre partos y servicios por concep-
ción, se asumió el siguiente modelo animal univariado:

$$y = Xb + Z_1a + e$$

Para peso de la vaca al parto, se asumió un modelo animal de repetibilidad:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2c + e$$

donde y es un vector de observaciones para cada una de las diferentes características, b un vector de efectos fijos (año de empadre, época de empadre y edad de la madre al parto en forma lineal y cuadrática), a un vector aleatorio desconocido de efectos genéticos aditivos directos, c un vector aleatorio desconocido de efectos ambientales permanentes de la vaca, e un vector aleatorio desconocido de efectos ambientales temporales, y X , Z_1 , y Z_2 , son matrices conocidas de incidencia que relacionan los registros con b , a y c , respectivamente. Se asumió que los efectos genético aditivo, ambiental permanente de la vaca y residual se distribuyeron normalmente con media 0. Para edad al primer servicio, edad al primer parto, duración de la gestación, días abiertos, intervalo entre partos y servi-
cios por concepción, se asumió la siguiente estructura de varianzas y covarianzas:

$$V \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 \\ 0 & I_n\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

En el caso del modelo más complejo (para peso de la vaca al parto) se asumió la siguiente estructura:

$$V \begin{bmatrix} a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_c\sigma_c^2 & 0 \\ 0 & 0 & I_n\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

donde A es la matriz de relaciones aditivas de Wright entre todos los animales en el pedigrí, σ_a^2 es la varianza genética aditiva, σ_c^2 es la varianza del ambiente permanente de la vaca, σ_e^2 es la varianza del ambiente temporal, e I_c e I_n son matrices identidad de dimensión igual al número de vacas y número de observaciones, respectivamente.

Estimación de componentes de varianza

Las varianzas se estimaron con Máxima Verosimi-
litud Restringida Libre de Derivadas (Smith y Graser 1986), usando el programa MTDFREML (Boldman *et al.* 1995). Se asumió que la convergencia se alcanzó cuando la varianza de menos dos veces el logaritmo de la verosimilitud en el simplex fue menor que 10^{-8} . Des-
pués de que el programa convergió por primera vez, se realizaron varios reinicios para asegurarse que se había alcanzado un máximo global, en lugar de un máximo

local. En cada nuevo análisis, se usaron como valores iniciales los estimadores de los parámetros obtenidos en el análisis previo. Las soluciones de los efectos aleatorios se obtuvieron del último ciclo de iteración donde se alcanzó el máximo global.

Estimadores de parámetros genéticos

Se obtuvieron estimadores para la varianza fenotípica ($\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_c^2$ o $\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2$), heredabilidad para efectos genéticos aditivos ($h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2$), repetibilidad ($r^2 = [\sigma_a^2 + \sigma_c^2] / \sigma_p^2$), fracción de la varianza fenotípica debida a efectos del ambiente permanente de la vaca ($c^2 = \sigma_c^2 / \sigma_p^2$), y varianza residual como proporción de la varianza fenotípica ($e^2 = \sigma_e^2 / \sigma_p^2$). Los errores estándar para los estimadores de los parámetros genéticos fueron aproximados y fueron calculados usando la

matriz de información promedio (Johnson y Thompson 1995) y el Método Delta (Dodenhoff *et al.* 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas descriptivas de la información analizada se muestran en el Cuadro 1. Las medias de edad al primer servicio, edad al primer parto, duración de la gestación, días abiertos, intervalo entre partos, servicios por concepción y peso de la vaca al parto fueron: 30,0 meses, 39,5 meses, 288 días, 180 días, 416 días, 1,6 servicios y 518 kg, respectivamente. Las medias de edad al primer parto e intervalo entre partos son similares a las reportadas por Mercadante *et al.* (2000) para vacas Nelore brasileñas. Los estimadores de los componentes de varianza se presentan en el Cuadro 2, mientras que

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas para características reproductivas de vacas Indubrasil nacidas de 1974 a 2004 en Playa Vicente, Veracruz, México. 20 de mayo de 2013.

	Característica reproductiva ^a						
	EPS	EPP	DG	DA	IEP	SPC	PP
Número de observaciones	215	145	778	506	478	846	786
Valor mínimo	18,8	29,7	260	60	314	1	305
Valor máximo	44,6	49,8	300	647	591	6	765
Media	30,0	39,5	288	180	416	1,6	518
Desviación estándar	5,97	5,32	6,3	127	73	0,9	70
Coefficiente de variación, %	19,9	13,5	2,2	70	18	54	13,5

^a EPS= edad al primer servicio (meses); EPP= edad al primer parto (meses); DG= duración de la gestación (días); DA= días abiertos; IEP= intervalo entre partos (días); SPC= servicios por concepción; PP= peso de la vaca al parto (kg).

Cuadro 2. Estimadores de componentes de varianza para características reproductivas de vacas Indubrasil nacidas de 1974 a 2004 en Playa Vicente, Veracruz, México. 20 de mayo de 2013.

Característica reproductiva	Estimador ^a			
	σ_a^2	σ_c^2	σ_e^2	σ_p^2
Edad al primer servicio, meses ²	5,87	-	12,83	18,71
Edad al primer parto, meses ²	4,38	-	6,83	11,21
Duración de la gestación, días ²	2,99	-	33,02	36,02
Días abiertos, días ²	404,9	-	12.996	13.401
Intervalo entre partos, días ²	536,7	-	3.703,2	4.239,9
Servicios por concepción, unidades ²	0,028	-	0,770	0,797
Peso de la vaca al parto, kg ²	2.074	85,25	2.085	4.244

^a σ_a^2 = varianza genética aditiva, σ_c^2 = varianza del ambiente permanente de la vaca, σ_e^2 = varianza del error, σ_p^2 = varianza fenotípica.

los estimadores de los parámetros genéticos para cada una de las características analizadas se muestran en el Cuadro 3. Los altos coeficientes de variación de días abiertos y servicios por concepción se debieron a que todos los registros fueron incluidos, independientemente de su magnitud, excepto los registros afectados por enfermedad o muerte, los cuales fueron excluidos. Ngere *et al.* (1973) demostró que la eliminación de lactancias extremas no afectadas por enfermedad o muerte, al evaluar la producción de leche, conduce a serios sesgos, afectando las conclusiones acerca de una raza o hato.

Edad al primer servicio

La edad al primer servicio registrado es un indicador de la edad a la pubertad. El análisis de la edad al primer servicio reveló que esta característica fue moderadamente heredable en el hato de hembras Indubrasil evaluado en el presente estudio ($0,31 \pm 0,152$). Toelle y Robison (1985), en un estudio realizado con vacas Hereford, encontraron que el estimador de heredabilidad de la edad al primer servicio de vaquillas apareadas a 1 o 2 años de edad fue de 0,35. Bennett y Gregory (2001), al evaluar nueve razas paternas (Angus, Braunvieh, Charolais, Gelbvieh, Hereford, Limousin, Pinzgauer, Red Poll, Simmental) y tres razas sintéticas (MARC I, MARC II, MARC III), determinaron que la edad a la pubertad tuvo una heredabilidad de 0,27, siendo también este último valor similar al presente estimador de heredabilidad. En otros estudios

realizados con vaquillas Brahman (Vargas *et al.* 1998) y cruzadas (Splan *et al.* 1998) se obtuvieron estimadores de heredabilidad para edad a la pubertad poco mayores, con valores de 0,42 y 0,47, respectivamente.

Edad al primer parto

La heredabilidad estimada para edad al primer parto ($0,39 \pm 0,196$) es similar a las heredabilidades estimadas por van der Westhuizen *et al.* (2001), Azevêdo *et al.* (2006a) y Bormann y Wilson (2010) en diferentes razas productoras de carne (Angus, Sintética, Chianina). Otros investigadores (Lôbo 1998, Yilmaz *et al.* 2004, Roughsedge *et al.* 2005, Azevêdo *et al.* 2006b, Boligon *et al.* 2012) han reportado menores estimadores con valores que van de 0,21 a 0,29. Sin embargo, Martínez-Velázquez *et al.* (2003), Silveira *et al.* (2004) y Forni y Albuquerque (2005) reportaron estimadores de heredabilidad cercanos a cero, sugiriendo que la varianza genética aditiva para edad a primer parto es escasa. Bajos estimadores de heredabilidad para edad a primer parto pueden deberse a la corta duración de los empadres de las vaquillas, ya que con empadres más largos se pueden concebir más hembras, lo que puede contribuir a la identificación de diferencias genéticas entre animales (Forni y Albuquerque 2005). El valor de heredabilidad obtenido en el presente trabajo para edad a primer parto indica que esta característica puede ser disminuida mediante selección. Las consecuencias favorables de seleccionar

Cuadro 3. Estimadores de parámetros genéticos para características reproductivas de vacas Indubrasil nacidas de 1974 a 2004 en clima tropical húmedo en Playa Vicente, Veracruz, México. 20 de mayo de 2013.

Característica reproductiva	Estimador ^a			
	h^2	r^2	c^2	e^2
Edad al primer servicio	$0,31 \pm 0,152$	-	-	$0,69 \pm 0,152$
Edad al primer parto	$0,39 \pm 0,196$	-	-	$0,61 \pm 0,196$
Duración de la gestación	$0,08 \pm 0,033$	-	-	$0,92 \pm 0,033$
Días abiertos	$0,03 \pm 0,028$	-	-	$0,97 \pm 0,028$
Intervalo entre partos	$0,13 \pm 0,056$	-	-	$0,87 \pm 0,056$
Servicios por concepción	$0,03 \pm 0,027$	-	-	$0,97 \pm 0,027$
Peso de la vaca al parto	$0,49 \pm 0,098$	0,51	$0,02 \pm 0,073$	$0,49 \pm 0,048$

^a h^2 = heredabilidad, r^2 = repetibilidad, c^2 = varianza del ambiente permanente de la vaca como proporción de la varianza fenotípica, e^2 = varianza residual como proporción de la varianza fenotípica.

para precocidad serían una mayor longevidad y un menor costo de producción de hembras de reemplazo, las cuales no están produciendo becerros, pero consumen alimento (Azevêdo *et al.* 2006a).

Servicios por concepción

Servicios por concepción resultó ser una característica bajamente heredable, con un valor menor a 0,05. Azevêdo *et al.* (2006b), para vacas Nelore brasileñas, y Yagüe *et al.* (2009), para vacas Rubia Gallega españolas, reportaron que los días abiertos tuvieron una heredabilidad cercana a cero (0,05, 0,07, respectivamente), lo cual es acorde con lo encontrado en el presente estudio. Por el contrario, Núñez (2006) encontró que la heredabilidad para servicios por concepción en vacas de doble propósito (Holstein, Pardo Suizo y Simmental x Cebú) en condiciones tropicales de México fue prácticamente nula, con un valor de 0,006.

Duración de la gestación

El presente estimador de heredabilidad para la duración de la gestación fue cercano al 10% y se encuentra dentro del intervalo de estimadores reportados en la literatura científica. Sin embargo, dichos estimadores muestran una considerable variabilidad con magnitudes que van de 0,002 (Manatrinon *et al.* 2009) y 0,04 (Yagüe *et al.* 2009) hasta 0,12 (Azevêdo *et al.* 2006b) y 0,15 (van Graan *et al.* 2004), pasando por valores intermedios de 0,07 (Cervantes *et al.* 2010) y 0,09 (Crews 2006). La duración de la gestación es una característica importante porque las vacas con gestaciones más cortas tienen más tiempo para recuperarse y ciclar nuevamente, además de que sus crías disponen de un periodo más largo para alimentarse de leche materna.

Intervalo entre partos

Intervalo entre partos resultó ser una característica reproductiva más heredable que días abiertos y servicios por concepción con un valor de $0,13 \pm 0,056$, el cual se encuentra dentro del intervalo 0,09 - 0,14 reportado por Lôbo (1998), Goyache y Gutiérrez (2001), Goyache *et al.* (2005), Roughsedge *et al.* (2005), Azevêdo *et al.* (2006a), Gutiérrez *et al.* (2007) y Yagüe *et al.* (2009) para bovinos productores de carne. Por el contrario, Frazier *et al.* (1999) con ganado Angus, Oyama *et al.*

(2002) con ganado Japonés Negro y Azevêdo *et al.* (2006b) con ganado Nelore encontraron que intervalo entre partos es escasamente heredable con valores de 0,03, 0,05 y 0,05, respectivamente. Se ha reportado que bajos estimadores de heredabilidad para intervalo entre partos se pueden deber a: 1) la poca disponibilidad de animales en la estimación, 2) la fuerte influencia ambiental sobre la característica, 3) la necesidad de ajustar mejor los efectos fijos, y 4) al uso de modelos que no pueden explicar adecuadamente la estructura de la población evaluada (Goyache y Gutiérrez 2001).

Días abiertos

Días abiertos resultó ser igualmente heredable que servicios por concepción. El bajo estimador de heredabilidad en este caso, concuerda con los reportados para las razas productoras de carne Japonés Negro (Oyama *et al.* 2002) y Rubia Gallega (Yagüe *et al.* 2009). Por el contrario, para la raza española Asturiana de los Valles, Goyache *et al.* (2005) encontraron que días abiertos es una característica reproductiva con considerable variabilidad genética, en relación con lo que usualmente se ha encontrado para características reproductivas, especialmente para vaquillas y vacas de segundo parto. En dicho estudio, los estimadores de heredabilidad para días abiertos fueron de 0,091 para vacas de diez o más partos y 0,197 para vacas de segundo parto. Por su parte, Morris *et al.* (2000) reportaron que días abiertos fue 11% heredable en la raza Angus en un experimento de selección implementado para reducir la pubertad.

Peso de la vaca

El estimador de heredabilidad obtenido para el peso de la vaca al parto fue moderadamente alto (0,49), mientras que la fracción de la varianza del ambiente permanente fue relativamente baja (< 5%). En consecuencia, el estimador de repetibilidad fue similar al estimador de heredabilidad. Este último sugiere que la selección sería efectiva; además, es similar a los estimadores reportados para vacas Angus (0,45; Northcutt y Wilson 1993) y Nelore (0,45; Boligon *et al.* 2012). Con vacas Angus, Hereford y F1 Angus x Hereford, Arango *et al.* (2002) obtuvieron una heredabilidad para peso maduro de 0,49, valor que es igual al estimado en el presente estudio. Similarmente, el análisis de estimadores de parámetros genéticos publicados en la literatura para características de bovinos de

razas cárnicas, realizado por Koots *et al.* (1994), reveló que el peso maduro tiene una heredabilidad promedio de 0,50, lo que también concuerda con lo hallado en la presente investigación. Por su parte, Marlowe y Morrow (1985) y Roughsedge *et al.* (2005) reportaron valores de heredabilidad de 0,38, 0,39 y 0,40, para vacas Angus, Simmental y Limousin, respectivamente, siendo estos poco menores que el del presente trabajo.

En conclusión, edad al primer servicio, edad al primer parto y peso de la vaca al parto fueron características más heredables que servicios por concepción, duración de la gestación, días abiertos e intervalo entre partos, por lo que las primeras tres características responderían mejor o más eficientemente a la selección. En general, los estimadores de heredabilidad obtenidos en el presente trabajo para el hato de vacas Indubrasil evaluado son similares a los estimadores reportados en la literatura. Sin embargo, no se encontraron estudios que reportaran estimadores de heredabilidad para características reproductivas de vacas Indubrasil criadas en México u otros países. Las pequeñas diferencias encontradas en relación con los estimadores reportados en la literatura se pudieron deber a diferencias en: 1) las razas evaluadas, 2) el manejo, 3) el número de observaciones, y 4) el ambiente.

LITERATURA CITADA

- AMCC (Asociación Mexicana de Criadores de Cebú). 2013. Las razas Cebú (en línea). Consultado 7 de junio de 2013. Disponible en http://www.cebumexico.com/home/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=65
- Arango, JA; Cundiff, LV; Van Vleck, LD. 2002. Genetic parameters for weight, weight adjusted for body condition score, height, and body condition score in beef cows. *Journal of Animal Science* 80:3112-3122.
- Azevêdo, DMMR; Filho, RM; Bozzi, R; Forabosco, F; Malhado, CHM. 2006a. Parâmetros genéticos e fenotípicos do desempenho reprodutivo de fêmeas Chianina. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(3):982-987.
- Azevêdo, DMMR; Filho, RM; Lôbo, RNB; Malhado, CHM; Lôbo, RB; Moura, AAA; Pimenta Filho, EC. 2006b. Desempenho reprodutivo de vacas Nelore no Norte e Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(3):988-996.
- Bennett, GL; Gregory, KE. 2001. Genetic (co)variances for calving difficulty score in composite and parental populations of beef cattle: II. Reproductive, skeletal, and carcass traits. *Journal of Animal Science* 79:52-59.
- 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]. Washington, DC, USA, ARS, USDA. 114 p.
- Boligon, AA; Baldi, F; Albuquerque, LG. 2012. Genetic correlations between heifer subsequent rebreeding and age at first calving and growth traits in Nellore cattle by bayesian inference. *Genetics and Molecular Research* 11(4):4516-4524.
- Bormann, JM; Totir, LR; Kachman, SD; Fernando, RL; Wilson, DE. 2006. Pregnancy rate and first-service conception rate in Angus heifers. *Journal of Animal Science* 84:2022-2025.
- Bormann, MJ; Wilson, DE. 2010. Calving day and age at first calving in Angus heifers. *Journal of Animal Science* 88:1947-1956.
- Cervantes, I; Gutiérrez, JP; Fernández, I; Goyache, F. 2010. Genetic relationships among calving ease, gestation length, and calf survival to weaning in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Journal of Animal Science* 88:96-101.
- Chan, EKF; Nagaraj, SH; Reverter, A. 2010. The evolution of tropical adaptation: comparing Taurine and Zebu cattle. *Animal Genetics* 41:467-477.
- Crews, DH. 2006. Age of dam and sex of calf adjustments and genetic parameters for gestation length in Charolais cattle. *Journal of Animal Science* 84:25-31.
- 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.
- Forni, S; Albuquerque, LG. 2005. Estimates of genetic correlations between days to calving and reproductive and weight traits in Nelore cattle. *Journal of Animal Science* 83:1511-1515.
- Frazier, EL; Spratt, LR; Sanders, JO; Dahm, PF; Crouch, JR; Turner, JW. 1999. Sire marbling score expected progeny difference and weaning weight maternal expected progeny difference associations with age at first calving and calving interval in Angus beef cattle. *Journal of Animal Science* 77:1322-1328.
- Goyache, F; Gutiérrez, JP. 2001. Heritability of reproductive traits in Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Archiv Tierzucht* 44(5):489-496.

- Goyache, F; Gutiérrez, JP; Fernández, I; Royo, LJ; Álvarez, I. 2005. Genetic analysis of days open in beef cattle. *Livestock Production Science* 93:283-289.
- Gutiérrez, JP; Goyache, F; Fernández, I; Alvarez, I; Royo, LJ. 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Journal of Animal Science* 85:69-75.
- 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.
- Koots, KR; Gibson, JP; Wilton, JW. 1994. Analyses of published genetic parameter estimates for beef production traits. 2. Phenotypic and genetic correlations. *Animal Breeding Abstract* 62:825-853.
- Lôbo, RNB. 1998. Genetic parameters for reproductive traits of Zebu cows in the semi-arid region of Brazil. *Livestock Production Science* 55(3):245-248.
- Manatrinon, S; Furst-Waltl, B; Baumung, R. 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length and stillbirth in three endangered Austrian Blond cattle breeds. *Archiv Tierzucht* 52:553-560.
- Marlowe, TJ; Morrow, GA. 1985. Heritabilities and phenotypic, genetic and environmental correlations for weight, grade and condition of Angus cows. *Journal of Animal Science* 60:82-88.
- Martínez-Velázquez, G; Gregory, KE; Bennett, GL; Van Vleck, LD. 2003. Genetic relationships between scrotal circumference and female reproductive traits. *Journal of Animal Science* 81:395-401.
- Mercadante, MEZ; Lôbo, RB; Oliveira, HN. 2000. Estimativas de (co)variâncias entre características de reprodução e de crescimento em fêmeas de um rebanho Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29(4):997-1004.
- Morris, CA; Wilson, JA; Bennett, GL; Cullen, NG; Hickey, SM; Hunter, JC. 2000. Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 43:83-91.
- Ngere, LO; McDowell, RE; Bhattacharya, S; Guha, H. 1973. Factors influencing milk yield of Haryana cattle. *Journal of Animal Science* 36:457-465.
- Northcutt, SL; Wilson, DE. 1993. Genetic parameter estimates and expected progeny differences for mature size in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 71:1148-1153.
- 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. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México. 89 p.
- Oyama, K; Katsuta, T; Anada, K; Mukai, F. 2002. Heritability and repeatability estimates for reproductive traits of Japanese Black cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 15(12):1680-1685.
- Roughsedge, T; Amer, PR; Thompson, R; Simm, G. 2005. Genetic parameters for a maternal breeding goal in beef production. *Journal of Animal Science* 83:2319-2329.
- Silveira, JC; McManus, C; Mascioli, AS; Silva, LOC; Silveira, AC; Garcia, JAS; Louvandini, H. 2004. Fatores ambientais e parâmetros genéticos para características produtivas e reprodutivas em um rebanho Nelore no Estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33(6):1432-1444.
- 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.
- Splan, RK; Cundiff, LV; Van Vleck, LD. 1998. Genetic parameters for sex-specific traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 76:2272-2278.
- Toelle, VD; Robison, OW. 1985. Estimates of genetic correlations between testicular measurements and female reproductive traits in cattle. *Journal of Animal Science* 60:89-100.
- van der Westhuizen, RR; Schoeman, SJ; Jordaan, GF; van Wyk, JB. 2001. Genetic parameters for reproductive traits in a beef cattle herd estimated using multitrait analysis. *South African Journal of Animal Science* 31(1):41-48.
- van Graan, AC; Naser, FWC; van der Westhuizen, J; Theron, HE. 2004. Genetic and phenotypic parameter estimates of gestation length and birth weight in Bonsmara cattle. *South African Journal of Animal Science* 34(2):95-97.
- Vargas, CA; Elzo, MA; Chase, CC; Chenoweth, PJ; Olson, TA. 1998. Estimation of genetic parameters for scrotal circumference, age at puberty in heifers, and hip height in Brahman cattle. *Journal of Animal Science* 76:2536-2541.
- Yagié, G; Goyache, F; Becerra, J; Moreno, C; Sánchez, L; Altarriba, J. 2009. Bayesian estimates of genetic parameters for pre-conception traits, gestation length and calving interval in beef cattle. *Animal Reproduction Science* 114(1):72-80.
- Yilmaz, A; Davis, ME; Simmen, RCM. 2004. Estimation of (co)variance components for reproductive traits in Angus beef cattle divergently selected for blood serum IGF-I concentration. *Journal of Animal Science* 82:2285-2292.