

Parámetros genéticos para peso al destete y rasgos reproductivos en ganado cebú de Cuba

Genetic parameters for weaning weight and reproductive traits in cebu cattle of cuba

Alejandro Palacios Espinosa¹, José Luis Espinoza Villavicencio¹ y Alberto Menéndez Buxadera²

Palabras clave: cebú de Cuba; parámetros genéticos para rasgos reproductivos y peso al destete; análisis de componentes principales

Keywords: cebu from Cuba; genetic parameters for reproductive traits and weaning weight; principal component analysis

Recepción: 18-09-2018 / Aceptación: 27-11-2018

Resumen

Introducción: El programa de mejora del ganado Cebú de Cuba (PMGC) se lleva a cabo con aproximadamente 12000 hembras de raza pura, distribuidas en varios rebaños en todo el país. Se registra en los machos jóvenes, el peso al destete (PD); peso vivo a 18 meses (PF18), y en las hembras el intervalo entre partos (IPP), intervalo parto gestación (IPG), número de inseminación por gestación (NIA); duración de la gestación (DG) y tasa de gestación a la primera inseminación (TG). Sin embargo, hasta el presente sólo el PD y PF18 son los criterios de selección de mayor prioridad. El objetivo de éste estudio fue estimar los parámetros genéticos de estos caracteres y de acuerdo con los resultados hacer las sugerencias necesarias que posibiliten una mayor eficiencia del PMGC.

Método: Un total de 28776 registros de IPP, IPG, NIA, DG, TG y PD, provenientes de 23808 animales fueron estudiados con diferentes modelos lineales mixtos con el propósito de estimar los componentes de (co)varianza y los parámetros genéticos de estos caracteres aplicando el software ASreml3 (Gilmour *et al.*, 2009).

Resultados: La edad al parto ejerció un efecto benéfico en todos los rasgos excepto en NIA. La heredabilidad (h^2) para PD fue 0.45 ± 0.05 y 0.21 ± 0.03 para efectos directo y maternos, respectivamente, mientras que la correlación genética entre ambos efectos fue negativa (-0.57 ± 0.05); Las heredabilidades para IPP, IPG, NIA y TG fueron: 0.10 ± 0.03 ; 0.10 ± 0.03 ; 0.11 ± 0.03 y 0.08 ± 0.02 , respectivamente. Los modelos bivariados, arrojaron incrementos del 4 al 18 % en la h^2 para IPP (0.12 ± 0.01); IPG (0.11 ± 0.02) y NIA (0.12 ± 0.03) y cerca del 45 % para TG (0.14 ± 0.04), respecto a los estimados por modelos univariados. Los modelos multivariados mostraron un incremento del 18% en la precisión de los valores genéticos de los sementales. El

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Ciencia Animal. E-mail: jlvilla@uabcs.mx

² Universidad de Córdoba, Departamento de Genética, España

© Universidad De La Salle Bajío (México)

análisis de componentes principales arrojó que los dos primeros eigenvalores (e_1) explican entre el 93 al 99% de la varianza genética total y en un escenario de evaluación bicarácter mediante PD y IPP o PD con IPG, el segundo componente explicó cerca del 20% de la varianza entre los valores genéticos para estos rasgos. Con el uso de los coeficientes del segundo e_1 como índice de ponderación de los VG se pudieron identificar animales que mejoran simultáneamente tanto el PD y los rasgos reproductivos IPP o IPG.

Discusión o Conclusión: La selección aplicando los coeficientes del primer y segundo eigenvalores producirá respuestas positivas en PD e IPP, atenuando los efectos antagónicos de los efectos directos y maternos sobre el peso al destete. Se recomienda aplicar modelos multivariados para incrementar la precisión de los estimados de parámetros genéticos de rasgos de reproductivos, debido a un mejor aprovechamiento de las (co)varianzas genéticas con caracteres de mayor nivel de heredabilidad.

Abstract

Introduction: The Cebu Cuba Livestock Improvement Program (PMGC) has a control system based on the individual results of approximately 12,000 purebred females distributed throughout several herds throughout the country. Are recorded in young males, the weaning weight (PD); the live weight at 18 months (PF18), and in the females, calving interval (IPP), calving to conception interval (IPG), number of insemination per conception (NIA); length of gestation (DG) and pregnancy rate to first insemination (TG). However, until now only the PD and PF18 are the highest priority selection criteria. The objective of this study was to estimate the genetic parameters of these characters and, in accordance with the results, make the PMCG more efficient.

Method: A total of 28776 records of IPP, IPG, NIA, TG and PD, from 23808 animal were studied with different mixed linear models with the purpose of estimating the components of (co) variance and the genetic parameters of these characters applying the ASreml3 software (Gilmour *et al.*, 2009)

Results: Age at birth had a beneficial effect on all traits except NIA. Heritability estimates (h^2) for PD were 0.45 ± 0.05 and 0.21 ± 0.03 for direct and maternal effects respectively, whereas the genetic correlation between both effects was negative (-0.57 ± 0.05); The heritability for IPP, IPG, NIA and TG were: 0.10 ± 0.03 ; 0.10 ± 0.03 ; 0.11 ± 0.03 and 0.08 ± 0.02 , respectively. The

bivariate models showed increases of 4 to 18% in the h^2 for IPP (0.12 ± 0.01); IPG (0.11 ± 0.02) and NIA (0.12 ± 0.03) and close to 45% for TG (0.14 ± 0.04) with respect to those estimated by univariate models. The multivariate models showed an 18% increase in the precision of the genetic values of the bulls. Analysis of principal components showed that the first two eigenvalues (e_i) explain 93-99% of the total genetic variance and in a bicáracter evaluation scenario using PD and IPP or PD with IPG, the second component explained about 20% of the variance between the genetic values for these traits. With the use of the coefficients of the second e_i as the VG weighting index, it was possible to identify animals that simultaneously improve both the PD and the reproductive traits IPP or IPG.

Discussion or Conclusion: The selection by applying the coefficients of the first and second eigenvalues produce positive responses in PD and IPP mitigating the antagonistic effects of direct and maternal effects on weaning weight. It is recommended to treat multivariate models to increase the accuracy of the generic parameters of the reproductive traits due to a better use of the genetic (co)variances with characters of higher heritability level.

Introducción

El programa de mejora del ganado Cebú de Cuba (PMGC) lleva a cabo un sistema de control basado en los resultados individuales de aproximadamente 12000 hembras de raza pura, distribuidas en varios rebaños en todo el país (Espinoza *et al.*, 2007). Esta parte de la población tiene la responsabilidad de producir los nuevos sementales requeridos y crear las condiciones para la evaluación genética de éstos, así como realizar aproximadamente 100000 inseminaciones cada año. Para auxiliar al PMGC existe el Centro de Control Pecuario (CENCOP), organismo nacional perteneciente al Ministerio de la Agricultura que está encargado entre otras tareas, de mantener la correspondiente base de datos generada del PMGC, así como el pedigree de los animales de ésta y otras razas.

Según los lineamientos establecidos en el PMGC, el peso al destete (PD) y peso vivo de los machos jóvenes a 18 meses (PF18) son los criterios de mayor prioridad. Los resultados de PD se utilizan en la evaluación de vacas y sementales aplicando un modelo animal con efectos directos y maternos, así como su covarianza (Guerra *et al.*, 2010). Los estimados de heredabilidad (h^2) para PD fueron relativamente bajos ($h^2 < 0.10$), adelantando estos últimos autores que la mejora genética de PD en el ganado Cebú cubano no resultaría suficientemente efectiva, lo cual fue

corroborado por Guillén *et al.* (2012). En el PMGC, aproximadamente el 25 % de los terneros machos destetados cada año son enviados a una prueba de comportamiento en condiciones de pastoreo con una duración de 12 meses, siendo PF18 el criterio de selección empleado, el cual es evaluado mediante un modelo animal. Mayores detalles sobre lo anterior, así como los parámetros genéticos estimados pueden encontrarse en Espinoza *et al.* (2008) y Guillén *et al.* (2011 y 2012). Como parte del PMGC, existe una base de datos en CENCOP dedicadas a registrar el comportamiento reproductivo, sin embargo, hasta el presente a estos caracteres no se le han brindado la debida importancia en los objetivos de selección de esta raza.

Varios estudios publicados en ganado Cebú, son coincidentes en señalar la existencia de un ligero antagonismo genético entre PD, PF18 y los rasgos reproductivos (Espinoza *et al.*, 2007; Luna de la Peña *et al.*, 2008; Pérez de Utrera *et al.*, 2009), no obstante, estos mismos autores destacan que la continua selección para el incremento del PF18 en los toros, no afectará negativamente la eficiencia reproductiva en las vacas. En estos trabajos señalados se manifiestan importantes variaciones de origen genético, sin embargo, los estimados de respuesta a la selección en el ganado *Bos indicus*, han sido muy modestos tanto en Cuba (Guillén *et al.*, 2012); como en Nelore de Brasil (Albuquerque *et al.*, 2006) y Brahman de Venezuela (Plasse *et al.*, 2002). Aun cuando tales tendencias no son muy grandes, en una detallada revisión sobre las bases genéticas de varios rasgos de interés económico en animales Cebuinos (Albuquerque *et al.*, 2006) se concluye que las evidencias publicadas indican que la aplicación de programas de mejora genética bien fundamentados en ganado *Bos indicus*, pueden ser muy exitosos, además de muy necesarios, en varios países de América Latina.

En diversos artículos sobre parámetros genéticos en animales *Bos indicus*, (Lobo *et al.*, 2000) existen un elemento común que debe resaltarse y se relaciona con la importancia de la precisión (ACC) de los Valores Genéticos (VG) estimados, indicador esencial para tomar decisiones en el programa de mejora. Al mismo tiempo, la literatura disponible es coherente en presentar niveles bajos de h^2 (Lobo *et al.*, 2000; Cammack *et al.*, 2009), de manera que debe esperarse que las ACC de los VG serán también bajos, al menos que se disponga de una voluminosa base de datos. Esto último no siempre está disponible en condiciones tropicales, de manera que un procedimiento que permita maximizar la estimación de ACC con los mismos datos disponibles siempre será bien recibido. En tal sentido, una alternativa de mucho impacto puede ser el uso de modelos multivariados (Mrode, 2005; Lassen *et al.*, 2007) en los cuales se

incorpore un rasgo de mayor nivel de h^2 junto a caracteres reproductivos. El análisis bivariado ha sido aplicado en varios de los artículos citados previamente, sin embargo, a nuestro alcance no se dispone de información en ganado de carne de que se haya empleado el análisis bivariado en la estimación de los VG y su correspondiente ACC.

Los objetivos del presente estudio fueron identificar y cuantificar las variaciones genéticas y ambientales que afectan a los rasgos reproductivos y peso al destete en ganado Cebú cubano.

Método

La población de animales Cebú pertenecían a 35 grandes rebaños de propiedad estatal, distribuidos en todo el país. El manejo general fue muy similar con un sistema de reproducción mediante inseminación artificial durante todo el año, los terneros permanecen junto a sus madres hasta el destete (6 a 7 meses), la alimentación es básicamente de pastos y se suministra mineral a voluntad. Se dispuso del peso al destete de cada animal y varios rasgos reproductivos de sus madres registrados oficialmente por parte de CENCOP y cuyos partos se efectuaron entre 1980 y 2000. La base de datos incluyó 55220 eventos correspondientes a los partos de 21909 vacas y fueron editados de forma detallada, eliminando registros de vacas sin fecha de nacimiento, fecha de gestación y sin fecha de parto. Se estimó la duración de la gestación (DG) eliminando aquellos registros con DG fuera del rango de 289 ± 5.7 días, así como aquellos eventos con ausencia de información del semental que gestó cada vaca. El proceso de edición se realizó secuencialmente y en general se eliminaron el 11% de los datos disponibles. De esta forma se garantizó que todos los animales nacidos tenían identificado a su padre y madre lo cual adicionalmente fue contrastado con el libro genealógico de la raza.

Para cada vaca se estimaron las edades a cada parto (en meses) y se eliminaron aquellos datos fuera del rango de: 29 a 50 meses para primer parto; 42 a 67 meses para segundo parto; 58 a 84 meses para tercer parto; 73 a 100 meses para cuarto parto y entre 86 a 120 meses para quinto parto. Adicional a los resultados de DG, de cada parto se registró el número de inseminaciones por gestación (NIA); el intervalo entre cada parto y la gestación (IPG) así como el intervalo entre partos (IPP). Adicionalmente se estimó la tasa de gestación (TG) a la primera inseminación definida como 1 si NIA=1 y 0 cuando NIA>1. La identificación individual de estas vacas con registros reproductivos se unió con la base de datos del peso al destete (PD) de cada ternero. Al

final del proceso anterior quedaron disponibles los datos de un total de 49289 partos de 14799 vacas (12190 eran madres de terneros que destetaron 23808 animales) hijas de 569 sementales, los terneros eran hijos de 579 sementales de los cuales 399 estaban representados como padres de vacas. Aquellos registros fuera del rango media \pm 3.2 desviaciones estándar de cada rasgo fueron declarados como perdidos. El pedigree se confeccionó (tres generaciones de antecesores) con toda la información disponible en CENCOP con un total de 42318 animales.

En términos estadísticos se aplicaron varios modelos lineales de efectos fijos mediante GLM de SAS (2002), para estimar algunas constantes descriptivas y formas de respuesta de las variables dependientes a factores incluidos en el modelo y que más adelante se mostraran. Con algunas ligeras variaciones, las seis variables dependientes fueron analizadas a través de modelos animales univariados (UNI) y bivariados (MT) mediante el uso de ASREML (Gilmour *et al.*, 2009). Los valores de PD y DG se consideraron como manifestaciones del genotipo del animal (efecto genético directo); el genotipo de su madre (efecto genético materno) y la covarianza entre los mismos. El resto de las variables se asumieron afectadas sólo por efecto materno, en el caso de TG se siguió el mismo procedimiento, pero comparando los resultados de modelos lineales y de un modelo binomial.

Los datos fueron analizados según los siguientes modelos

Modelo univariado

$$y_i = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{Z}_1\mathbf{u}_d + \mathbf{Z}_2\mathbf{u}_m + \mathbf{Z}_3\mathbf{c} + e_i \quad \text{para PD y DG y } \text{cov}_{dm} \text{ diferente de cero.}$$

$$y_i = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{Z}_4\mathbf{u}_a + \mathbf{Z}_3\mathbf{c} + e_i \quad \text{para NIA; IPP; IPG y TG.}$$

En estos dos modelos:

y_i son las variables dependientes.

\mathbf{b} es un conjunto de efectos fijos debidos a: sexo del ternero (dos niveles para PD y DG), edad al destete como covariable cuadrática para PD solamente; el número de parto de la vaca ($k=1,2...5$ clases) y la combinación de rebaño-año-trimestre natural de parto ($l=1,2...292$ niveles). Estos dos últimos efectos se consideraron para todas las variables dependientes.

\mathbf{u}_d ; \mathbf{u}_m y \mathbf{u}_a son los efectos aleatorios debido al componente genético directo del animal (**d**) que produce el registro (el ternero) y de su madre (**m**) respectivamente, para PD y DG, para el resto de las variables el animal que produce el registro es la vaca (**a**).

c es un efecto aleatorio de ambiente permanente debido a repetición del mismo rasgo en las vacas (14799 niveles).

e_i es un efecto aleatorio del error común a todas las observaciones.

X, **Z₁**, **Z₂**, y **Z₃** representan matrices de incidencia que conectan los efectos incluidos en el modelo con las variables dependientes, **Z₄** es también una matriz de incidencia del efecto de la vaca (**a**) la cual es similar a la matriz de incidencia para efectos genéticos maternos (**m**).

Dado el número de variables y dos tipos de modelos fue necesaria hacer una generalización. Los modelos aplicados fueron similares en los cuales se asume:

$$\mathbf{y} \sim \mathbf{N} [\mathbf{0}, \sigma_y^2 = (\mathbf{G}_0 + \mathbf{I}_i \sigma_c^2 + \mathbf{I}_n \sigma_e^2)]$$

Donde σ_y^2 ; σ_c^2 y σ_e^2 representan las varianzas totales; de efectos ambientales permanentes y del error, respectivamente. \mathbf{I}_i y \mathbf{I}_n son matrices de incidencia. Las (co)varianzas genéticas se presentan sólo en la definición de los componentes de \mathbf{G}_0 .

En modelos UNI para NIA; IPP; IPG y TG, $\mathbf{G}_0 = \mathbf{Z}_2 \mathbf{A} \mathbf{Z}_2' \sigma_a^2$ es la varianza debida a efectos genéticos de la vaca que produce el registro. En cambio, cuando se analiza PD y DG; $\mathbf{G}_0 = \mathbf{Z}_1 \mathbf{A} \mathbf{Z}_1' \sigma_d^2 + \mathbf{Z}_2 \mathbf{A} \mathbf{Z}_2' \sigma_m^2 + (\mathbf{Z}_1 \mathbf{A} \mathbf{Z}_2' + \mathbf{Z}_2 \mathbf{A} \mathbf{Z}_1') \sigma_{dm}$ como rasgo del ternero (**d**), su madre (**m**) y la covarianza (**dm**) entre ambos efectos genéticos.

Modelo bivariado

En los modelos MT se realizaron combinaciones entre PD y cada una del resto de las variables dependientes, expresándose la varianza de **y** como:

$$\text{var } \mathbf{y} = \begin{bmatrix} \mu_d \\ \mu_m \\ \mu_a \\ c_i \\ e_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 A Z_1' \sigma_d^2 & Z_1 A Z_2' \sigma_{dm} & Z_1 A Z_4' \sigma_{da} & 0 & 0 \\ Z_2 A Z_1' \sigma_{md} & Z_2 A Z_2' \sigma_m^2 & Z_2 A Z_4' \sigma_{ma} & 0 & 0 \\ Z_4 A Z_1' \sigma_{ad} & Z_4 A Z_2' \sigma_{am} & Z_4 A Z_4' \sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \begin{bmatrix} I \sigma_{c1}^2 \\ I \sigma_{c2}^2 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \begin{bmatrix} I \sigma_{e1}^2 \\ I \sigma_{e2}^2 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

En las descripciones anteriores σ_d^2 ; σ_m^2 y σ_{dm} son las varianzas para efectos genéticos directos, genéticos maternos y su covarianza para PD; σ_a^2 es la varianza genética de los efectos de la vaca; σ_{da} y σ_{ma} representan las respectivas covarianzas genéticas entre PD y cada una del resto de las variables estudiadas para los efectos indicados en los subíndices. Por otro lado, las varianzas de efectos de ambiente permanente σ_c^2 y del error σ_e^2 se consideraron no correlacionadas. El término A es el numerador de la matriz de parentesco.

Para PD y DG la heredabilidad para los efectos aditivos directos (h_d^2), efectos maternos (h_m^2) y total (h_T^2); así como las correlaciones genéticas entre los efectos directos y maternos (r_{dm}), se calcularon, según las siguientes fórmulas:

$$h_d^2 = \frac{\sigma_d^2}{\sigma_p^2}; \quad h_m^2 = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_p^2}; \quad h_T^2 = \frac{\sigma_d^2 + 1.5\sigma_{dm} + 0.5\sigma_m^2}{\sigma_p^2 = (\sigma_d^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{dm}^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2)} \text{ (Willham, 1963) y}$$

$$r_{dm} = \frac{\sigma_{dm}}{\sigma_d \sigma_m}$$

Para NIA; IPP; IPG y TG los parámetros genéticos se estiman con fórmulas clásicas tomando en consideración que la varianza residual en el modelo binomial es igual a $\pi^2/3$ para TG. Con la solución de estos modelos se estimaron los Valores Genéticos (VG) para cada i^{th} animal y cada j^{th} rasgo, así como la precisión (Acc_{ij}) de tales estimaciones según:

$$Acc_{ij} = \sqrt{1 - \frac{Pev}{\sigma_i^2}} * 100$$

En la cual **Pev** es la varianza del error de predicción (valor propio para cada animal para el carácter estudiado) y σ_i^2 es la varianza genética del carácter en la población estudiada. Los VG de cada rasgo según UNI y MT se emplearon para estimar las correlaciones (R) entre los mismos. Los resultados de VG de cada modelo MT fueron estandarizados y sometidos a un análisis de

componentes principales (ACP) con vistas a generalizar las tendencias de las diferentes estructuras de (co)varianza extrayendo más información con los mismos datos disponibles.

Resultados

La Tabla 1 presenta los valores promedios de los principales caracteres estudiados. La población de animales Cebú de Cuba se caracterizó por producir un ternero cada 15.5 meses con un peso de 154 kg al destete y un coeficiente de variación de 18% para ambos rasgos.

Tabla 1. Indicadores generales del comportamiento del Cebú en Cuba

Carácter	Media ± SD
Peso al destete (kg)	153.9 ± 28.1
Intervalo entre Partos(días)	471.1 ± 87.6
Intervalo Parto Gestación(días)	181.7 ± 88.1
Duración de la Gestación(días)	289.3 ± 5.9
Num de IA por Gestación	1.74 ± 0.97
Tasa de Gestación	0.527 ± 0.48

Durante el periodo de tiempo de representado (1980 a 1999), se manifestó una depresión significativa en todas las variables dependientes estudiadas. La Figura 1 presenta estos resultados en forma relativa (%) respecto a la media de mínimos cuadrados, de los rasgos correspondientes al año 1980. Excepto para el peso al destete (PD) que prácticamente se mantuvo constante durante este periodo, la tasa de gestación a la primera inseminación (TG) así como el número de inseminaciones por gestación (NIA) manifestaron los peores resultados con -42% y +55%, respectivamente. Entre 1980 a 1990 prácticamente se mantuvieron constantes los resultados para PD; IPG e IPP a partir de donde se acrecentó el deterioro.

La edad al parto ejerció un efecto altamente significativo sobre todas los rasgos estudiados, la Figura 2 presenta estos resultados en forma relativa (%) respecto a la media de mínimos cuadrados de los animales con 29 meses de edad al primer parto. Referido a una hembra adulta con 60 meses de edad al parto, los indicadores productivos analizados presentan mejores resultados en la medida que avanza la edad de las vacas, con cerca de un 15% a 25% para IPG e IPP y sólo un 6% para PD. Por el contrario, para TG y NIA las tendencias fueron muy superiores, pero en sentido contrario.

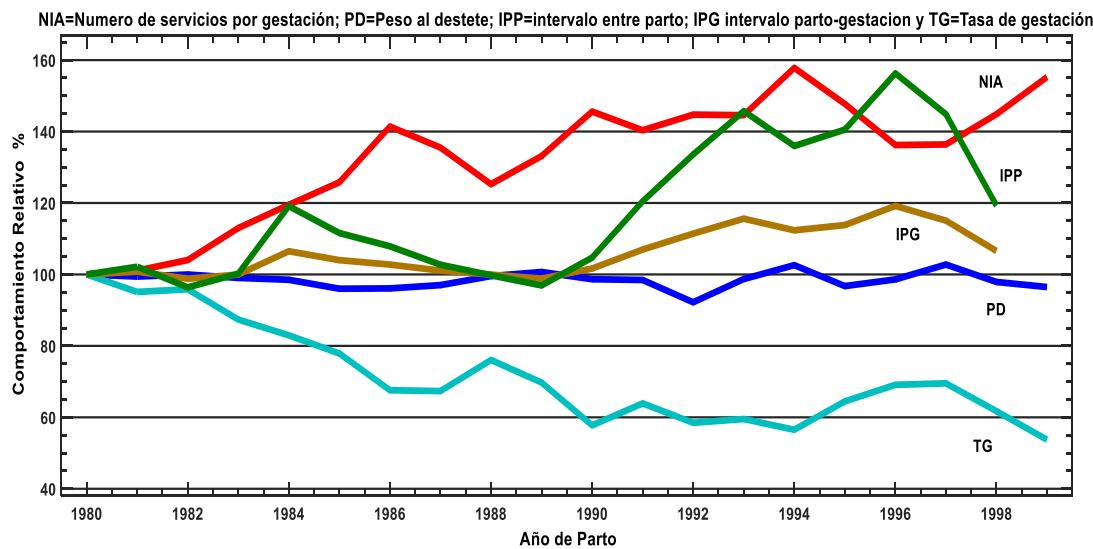


Figura 1. Evolución Relativa del comportamiento del Cebú de Cuba entre 1980 y 1999

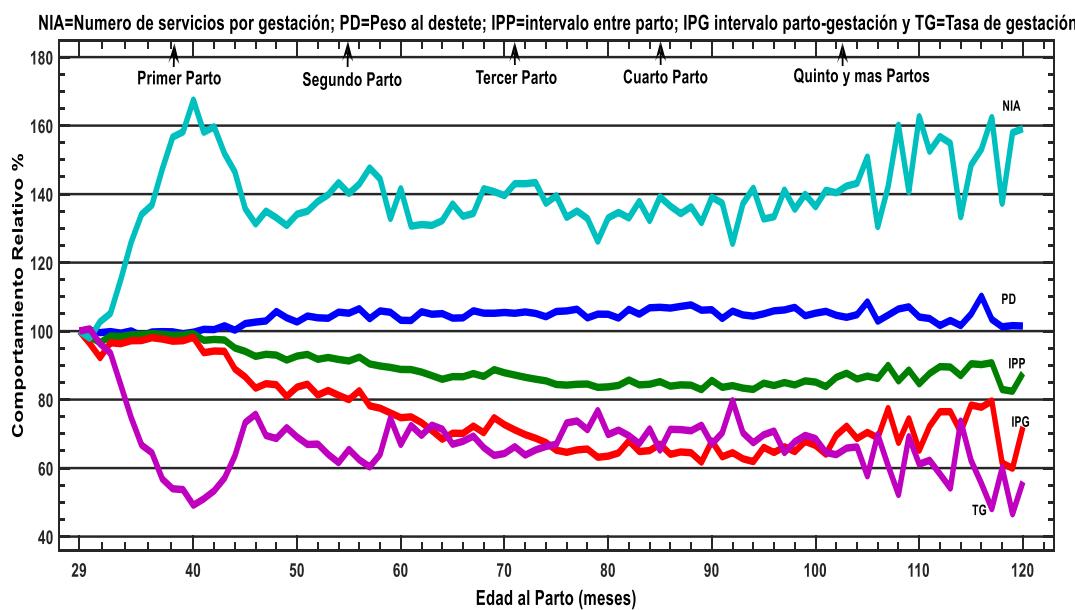


Figura 2. Evolución Relativa del comportamiento del Cebú de Cuba a diferentes edades al parto

Modelos univariados

Todas las variables se analizaron de acuerdo con el modelo univariado descrito previamente. Los componentes de varianza y la heredabilidad estimada para PD y DG se presentan en la Tabla 2, en donde se puede observar que se presentan ligeras variaciones en los resultados.

Tabla 2. Resultados de componentes de (co)varianza y parámetros genéticos (modelo univariado) para Peso al Destete y Duración de la Gestación en ganado Cebú de Cuba

	Peso al destete	Duración de la Gestación
Var Genética directa (d)	297.537	6.17581
Var Genética Materna(m)	107.949	1.21390
Var efecto permanente (c)	53.8428	ns
Cov Genética dm	-103.127	ns
Heredabilidad directa	0.449 ± 0.05	0.183 ± 0.03
Heredabilidad materna	0.163 ± 0.03	0.036 ± 0.01
Heredabilidad total	0.207 ± 0.03	-
Correlación dm	-0.575 ± 0.05	-

Para PD los resultados indicaron que existe un marcado antagonismo entre efecto genético directo y materno, pero no significativo para DG. Los efectos de ambiente permanente materno explican cerca del 8% para PD y no significativo (**ns**) para DG. Los estimados de h_d^2 fueron de mediano a alto para PD y relativamente bajos para DG, manifestando muy poca variación, por lo que se considera de poca utilidad respecto a los objetivos del presente artículo, de manera que no serán presentados más detalles.

El modelo para las variables NIA; IPP; IPG y TG difiere del anterior en el sentido que se asume que son rasgos afectados por la vaca que produce el registro, tales resultados se presentan en la Tabla 3. Los resultados muestran en general valores bajos de heredabilidad según lo esperado para estos caracteres, no obstante, la magnitud de los coeficientes de variación genética varió entre 5.1 % a 13% para IPP e IPG y 18.2% para NIA, lo cual indica poca variación. Para la variable TG los resultados difieren ligeramente ya sea mediante modelos umbral (TG bin) como lineales (TG lm).

Tabla 3. Resultados de componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para los rasgos reproductivos en hembras Cebú de Cuba (modelo univariado)

	IPP	IPG	NIA	TG bin	TG lm
Var Genética	576	566	0.09859	0.2813	0.02102
Var Permanente	338	329	0.00499	ns	ns
Var Total	5584	5610	0.88783	3.5712	0.2344
Heredabilidad	0.103 ± 0.03	0.101 ± 0.03	0.111 ± 0.03	0.078 ± 0.02	0.089 ± 0.02
Repetibilidad	0.164 ± 0.04	0.159 ± 0.04	0.117 ± 0.04	-	-

IPP= Intervalo entre partos; **IPG**= Intervalo parto-gestación; **NIA**= Número de inseminaciones por gestación; **TGbin**= Tasa de gestación modelos umbral; **TGIm**= Tasa de gestación modelos lineales

Modelos bivariados

De todos los rasgos estudiados fue el PD el que manifestó los mayores valores puntuales de heredabilidad y por ello fue incorporado en los modelos bivariados con NIA; IPP; IPG y TG para examinar los posibles beneficios que se puedan obtener. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Respecto a los resultados del modelo univariado, estos análisis arrojaron un incremento entre el 4 al 18% en los estimados de heredabilidad para IPP; IPG y NIA y cerca del 50 % para TG según el modelo binomial. Comparados con los mismos parámetros de los modelos UNI (Tabla 3), estos aumentos en h^2 se debieron al efecto de la covarianza entre PD y los rasgos reproductivos, lo que determinó un incremento en las varianzas genéticas, sin embargo, las fenotípicas totales fueron prácticamente similares. Los componentes de (co)varianza de PD de estos 5 modelos bivariados fueron muy semejantes a los mostrados en la Tabla 2 del modelo UNI y se considera no necesaria su presentación.

Tabla 4. Resultados de componentes de (co)varianza y parámetros genéticos (modelos bivariados) entre Peso al Destete y rasgos reproductivos en Cebú de Cuba

	Peso al destete				
	IPP	IPG	NIA	TG bin	TG lm
Var Genética	682	635	0.1035	0.5376	0.0215
Var Permanente	333	323	ns	ns	ns
Var Total	5577	5625	0.8883	3.8337	0.2349
Heredabilidad	0.122±0.01	0.113±0.02	0.116±0.03	0.139±0.04	0.091±0.03
Respetabilidad	0.165±0.09	0.161±0.08	--	--	--
*Correlación d	-0.561±0.08	-0.583±0.08	0.289±0.08	-0.237±0.09	-0.288±0.09
*Correlación m	0.451±0.09	0.472±0.08	-0.260±0.06	0.203±0.10	0.245±0.07

*Se refiere a la correlación entre los efectos directo (d) y maternos (m) del PD sobre cada rasgo reproductivo indicado en cada columna.

IPP= Intervalo entre partos; **IPG**= Intervalo parto-gestación; **NIA**= Número de inseminaciones por gestación; **TGbin**= Tasa de gestación modelos umbral; **TGIm**= Tasa de gestación modelos lineales.

En términos generales la tendencia antes mostrada sugiere que el uso de modelos bivariados posibilita una mayor ACC de los VG respecto a lo que se pueden obtener mediante UNI. La Tabla 5 muestra los resultados de las correlaciones entre los VG estimados por UNI y bivariado, así como la ACC promedio de ambos modelos. Las correlaciones entre los VG fueron superiores a 0.92, de manera que no se manifestaron cambios de importancia en el orden de mérito de los

animales por cualquiera de los dos modelos. Sin embargo, considerando los niveles de ACC, los modelos bivariados presentan un incremento de aproximadamente 18% superiores tanto en el total de animales como para los sementales en correspondencia con lo esperado.

Tabla 5. Correlación simple (R) y precisión (ACC* %) entre los Valores Genéticos para cada rasgo reproductivo estimados según modelos Univariado (ACCuni) y Bivariado (ACCbiv)

	VG_IPP	VG_IPG	VG_NIA	VG_TG lm	VG_TG bin
R	0.935	0.925	0.982	0.979	0.983
ACC uni	52(60)	49(56)	50(60)	48(60)	47(61)
ACC biv	58(67)	54(63)	54(64)	51(63)	54(66)

*Entre paréntesis se refiere a la precisión de sementales.

VGIPP= Valor genético intervalo entre partos; **VGIPG**= Valor genético intervalo parto-gestación; **VGNIA**= Valor genético número de inseminaciones por gestación; **VGTGlm**= Tasa de gestación modelos lineales; **VGTGbin**= Tasa de gestación modelos umbral; **ACCuni**= Precisión modelos univariado; **Accbiv**= Precisión modelo bivariado.

Además de las ventajas mencionadas, los modelos bivariados permitieron estimar las correlaciones genéticas entre PD y cada uno de los caracteres reproductivos (últimas dos líneas de la Tabla 4) entre los cuales se evidencia un patrón favorable entre el crecimiento propio del animal (efecto directo) y el comportamiento reproductivo de su madre medido por IPP e IPG, mientras que los efectos genéticos maternos están asociados en sentido contrario. Por otro lado, las correlaciones entre los efectos directos de PD con NIA y TG presentan un ligero antagonismo aproximadamente de la misma magnitud, pero en sentido opuesto respecto a los efectos maternos.

Los resultados de ACP de los VG estandarizados de los modelos bivariados se muestran en la Tabla 6. El primer eigenvalor explica entre el 61 y 92 % de la varianza total y se denomina vector de talla o nivel genético general, mientras que el segundo componente, cuyos coeficientes conforman el denominado como vector de forma, es responsable de alrededor del 7 y 32% de las (co)varianzas de **VG_PD x VG_IPP**; **VG_PD x VG_IPG** y **VG_PD x VG_TGbin** que son precisamente aquellos rasgos reproductivos de los modelos bivariado que mayores incrementos manifestaron en la heredabilidad de los mismos. El tercer eigenvalor tiene muy poca importancia.

Tabla 6. Resultados del análisis de Componentes Principales de los Valores Genéticos para peso al destete y cada uno de los rasgos reproductivos estimados mediante los modelos bivariados

Análisis de Componentes Principales						
	VG_PD x	VG_PD x	VG_PD x	VG_PD x	VG_PD x	
	VG_IPP	VG_IPG	VG_NIA	VG_TGlm	VG_TGbin	
Varianza Explicada por cada Eigenvalor (%)						
Primero	72.2	77.6	92.3	92.4	61.2	
Segundo	21.3	19.3	7.67	7.5	32.4	
Tercero	6.5	3.1	0.03	0.1	6.4	
Coeficientes de los dos primeros Eigenvectores(EV)						
	VG_PD x		VG_PD x			
	VG_IPP		VG_TGbin			
	PC1	PC2		PC1	PC2	
VG_PDdir	0.629	0.256		VG_PDdir	0.694	0.125
VG_PDmat	-0.607	-0.426		VG_PDmat	-0.685	-0.175
VG_IPP	-0.484	0.867		VG_IPP	-0.212	0.977

VGPD= Valor genético de peso al destete; **VGIPP**= Valor genético de intervalo entre partos; **VGIPG**= Valor genético intervalo parto gestación; **VGNIA**= Valor genético número de inseminaciones por gestación; **VGTGlm**= Tasa de gestación modelos lineales; **VGTGbin**= Tasa de gestación modelos umbrales; **CGPDdir**= Valor genético peso al destete efecto directo; **VGPDmat**= Valor genético peso al destete efecto materno; **PC1**= Componente principal 1; **PC2**= Componente principal 2

El ACP es una técnica multivariada que permite realizar una combinación lineal de los caracteres originales en un nuevo conjunto de variables subyacentes las cuales retienen la mayor parte de las (co)varianzas existentes. Para utilizar adecuadamente esta propiedad se necesitan los coeficientes de los correspondientes eigenvectores (e_i) los cuales se presentan en la parte inferior de la Tabla 6. Estos e_i se emplearon como factor de ponderación de los resultados originales de los VG (estandarizados previamente) y se estimaron dos nuevos factores que representan el mérito genético de los animales para un escenario de interés conjunto de PD e IPP (**VGPC1_PDIIPP** y **VGPC2_PDIIPP**) por un lado y para PD y TG (**VGPC1_PDTG** y **VGPC2_PDTG**) por el otro. En ambas alternativas, el mayor énfasis lo proporciona el **VG_PDdir**, el cual se contrarresta por el efecto contrario del **VGPD_mat**, y relativamente menor (aunque favorable) para **VG_IPP** y

muy poco en **VG_TG**. Las correlaciones entre los VG originales y estos nuevos indicadores se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Correlaciones simples entre los valores genéticos originales (n=42318 animales) para peso al destete y rasgos reproductivos y los respectivos nuevos valores genéticos subyacentes

Escenario de interés			
Relaciones	PD y IPP	PD y TG	Relaciones
VGPC1_PDIPP x VG_PDdir	0.705	0.669	VGPC1_PDTG x VG_PDdir
VGPC1_PDIPP x VG_PDmat	-0.728	-0.684	VGPC1_PDTG x VG_PDmat
VGPC2_PDIPP x VG_PDdir	0.698	0.553	VGPC2_PDTG x VG_PDdir
VGPC2_PDIPP x VG_PDmat	-0.427	0.011	VGPC2_PDTG x VG_PDmat
VGPC1_PDIPP x VG_IPP	-0.959	-0.790	VGPC1_PDTG x VG_TG
VGPC2_PDIPP x VG_IPP	-0.868	-0.423	VGPC2_PDTG x VG_TG

PD= Peso al destete; **IPP**= Intervalo entre partos; **TG**= Tasa de gestación; **PDdir**= Peso al destete efecto directo; **PDmat**= Peso al destete efecto materno; **VGPC1**= Valor genético componente principal 1; **VGPC2**= Valor genético componente principal 2; **VGIPP**= Valor genético de intervalo entre partos; **VGPDdir**= Valor genético peso al destete efecto directo; **VGPDmat**= Valor genético peso al destete efecto materno; **VGTG**= Valor genético tasa de gestación.

Los resultados anteriores indican qué, sí la selección se basa en los resultados de **VGPC1_PDIPP** no se manifestará mucho cambio en peso al destete debido a los efectos contrastantes entre **VG_PDdir** y **VG_PDmat** (ver coeficientes e_i parte o inferior de la Tabla 6). Sin embargo, para **VG_IPP** se manifestará una mejora sustancial debida a su alta correlación negativa (efecto favorable) con **VGPC1_PDIPP**. Si se utilizan los resultados de **VGPC2_VGIPP** las posibles respuestas serán ligeramente inferiores, pero en el mismo sentido. Por el contrario, si el trabajo de selección favorece a **VGPC1_VGTG** o **VGPC2_VGTG** los resultados esperados para peso al destete serán muy similares a los descritos previamente, pero de menor magnitud y los resultados para **VG_TG** serán negativos.

De las tendencias antes mencionadas se infiere que los criterios de selección que más beneficios pueden proporcionar deben considerar el escenario de mejora del peso al destete y el intervalo entre partos. Para ejemplificar esta posibilidad se preparó la Figura 3 que muestra la distribución conjunta de **VGPC1_VGIPP** y **VGPC2_VGIPP** con los VG originales para IPP.

Las respuestas muestran una tendencia negativa la cual favorece el decrecimiento de IPP de las vacas. En la propia Figura 3 se identificaron en rojo los VG de 30 sementales dentro de los seleccionados sólo en base a las nuevas variables **VGPC1_VGIPP** y **VGPC2_VGIPP** y que fueron mejorantes tanto para peso al destete como para intervalo entre partos,

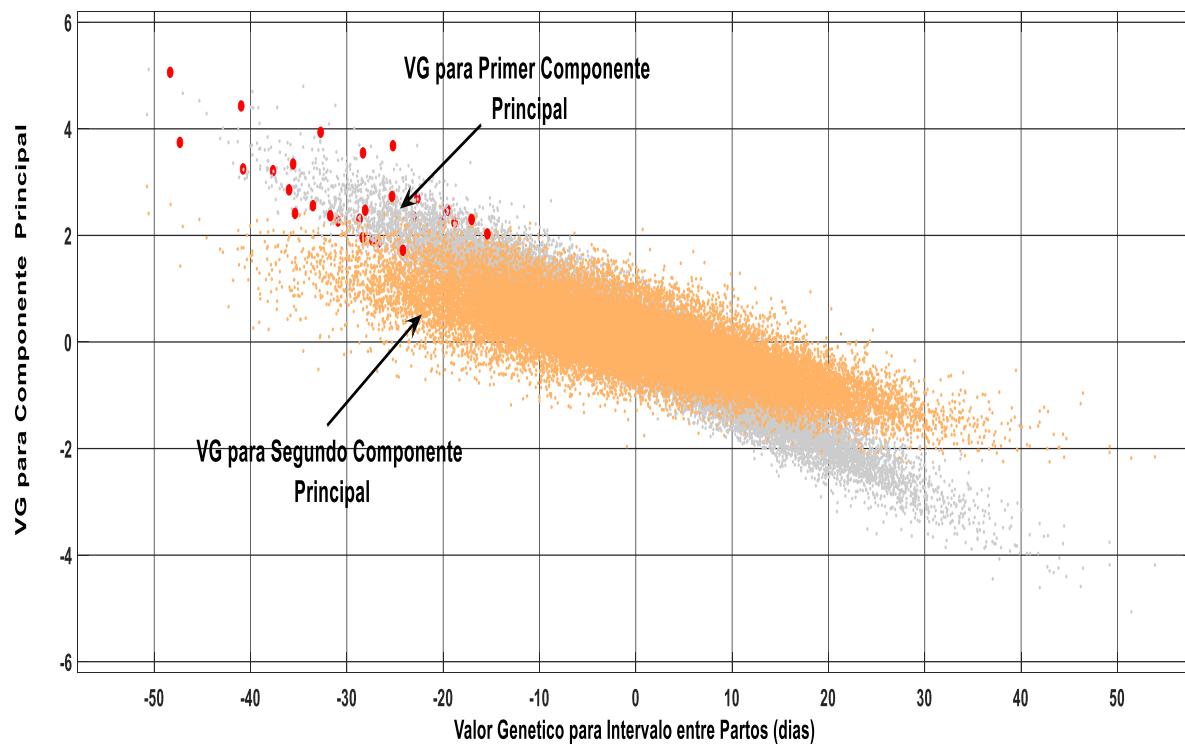


Figura 3. Distribución de los VG de los animales para intervalo entre parto y los nuevos valores genéticos subyacentes (**VGPC1_VGIPP** y **VGPC2_VGIPP**). En rojo los mejores 30 sementales para peso al destete

Discusión o Conclusiones

Los resultados del comportamiento general de la población de Cebú cubano estudiada están dentro de los niveles productivos publicados para esta raza en el sur de México (Estrada *et al.*, 2008, 2014); Estados Unidos (Randel, 2005) o Venezuela (Plasse *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2009). Estos niveles son consecuencia de los sistemas de producción donde se explotan estos animales, con una alimentación básica de pastos naturales o poco mejorados propios de esta región y programas de mejora no bien estructurados.

Durante el periodo que abarca nuestro estudio (1980-2000), la actividad económica de Cuba ha estado sometida a serias restricciones de recursos la cual se agudizó a partir de 1989 con la crisis política económica en los países del este de Europa que afectó a todas las actividades productivas de Cuba, con particular énfasis en la ganadería vacuna (Pérez, 1999), lo anterior explica el descenso en el comportamiento del ganado Cebú en todos los rasgos estudiados (ver Figura 1), de manera que, analizados globalmente y referidos al peso al destete, toda esta tendencia negativa equivale aproximadamente a que se requeriría una gestación adicional en el año 2000 para alcanzar los mismos resultados que se tenían en 1980. Toda esta situación ha dado lugar a identificar dos períodos de tiempo (antes y después de 1990) cuyas condiciones ambientales son tan contrastantes, que se han manifestado en efectos de interacción genotipo ambiente tanto en ganado Cebú (Rodríguez y Guerra, 2013) como en animales lecheros puros y cruzados (Menéndez-Buxadera *et al.*, 2016), la cual ha afectado la eficiencia de los programas de mejora.

Los pobres resultados de la población de Cebú cubano estudiada, son consecuencia de los sistemas de producción donde se explotan estos animales, con una alimentación básica de pastos naturales o muy poco mejorados sujetos a variaciones estacionales que producen alteraciones fisiológicas del animal y consecuentemente se manifiestan esas altas y bajas en su comportamiento, lo cual resulta evidente en los efectos de la edad al parto (ver Figura 2).

En general las tendencias de los efectos de la edad al parto son similares a los resultados recopilados por FAO (<http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5442e/x5442e00.htm>) sobre múltiple tipo de animales *Bos indicus*. No hay muchas evidencias disponibles sobre los efectos de la edad al parto o el número de parto sobre todos los rasgos estudiados, no obstante, estas mismas inestables tendencias fueron publicadas por Atencio (2012) y Segura *et al.* (2017) en las condiciones de Venezuela y México, respectivamente. Estos autores indican que en estas condiciones tropicales tanto los problemas de niveles deficientes de alimentación ya mencionados, como parasitismo y el stress térmico limitan las funciones reproductivas y son los responsables del pobre comportamiento del ganado Cebú en esta región. Los terneros nacidos de vacas adultas (cuarto parto en la Figura 2) presentan un peso al destete 7% superior a las de primer parto, lo anterior coincide con el 8.8% de aumento publicado en ganado Cebú en México (Segura *et al.* (2017). De acuerdo con Rumph y Van Vleck (2004), el comportamiento antes mencionado se debe a la menor producción de leche de las vacas primerizas cuya capacidad se

incrementa en la medida que alcanza la madurez fisiológica. De hecho, lo anterior implica también que las vacas emplean mayor proporción del alimento consumido en alimentar a su cría, dejando menos energías disponibles para el proceso de reproducción. Este efecto es puramente ambiental respecto al ternero, aunque de origen genético ligada a la madre, de manera que debe ser tomado muy en cuenta en la evaluación genética de los animales. En el caso de Cebú de Cuba se plantea que ha existido muy pocos efectos de selección para el peso al destete, debido básicamente a la subestimación de la importancia de esa relación madre-hijo (Guerra *et al.*, 2010). La influencia de la edad al parto sobre el peso al destete se incluye como efectos fijos en los modelos de evaluación genética, sin embargo, la literatura reciente (Paneto *et al.*, 2012 sobre rasgos reproductivos, Morales *et al.*, 2013 sobre peso al destete) indica que se manifiestan importantes variaciones genéticas en la forma de respuesta a través de la trayectoria de la edad al parto de las vacas, de manera que es recomendable más investigaciones sobre el tema.

Los estimados de h_d^2 y h_m^2 para PD en el presente estudio fueron superiores a evidencias previas publicadas para el Cebú de Cuba (Espinoza *et al.*, 2008; Guerra *et al.*, 2010; Guillen *et al.*, 2012), mientras que la correlación entre efecto directo y materno (Rg_{dm}) fue más negativa. Estas diferencias de estimados son coherentes con esta problemática de h_d^2 ; h_m^2 y Rg_{dm} del PD, la cual ha sido objeto de numerosas investigaciones con resultados muy variables. Las Figuras 4a; 4b y 4c presentan globalmente los valores disponibles de estos parámetros, que fueron adaptados de una excelente revisión de 337 trabajos publicados entre 1946 a 2006 presentada por Ríos-Utrera, (2008)

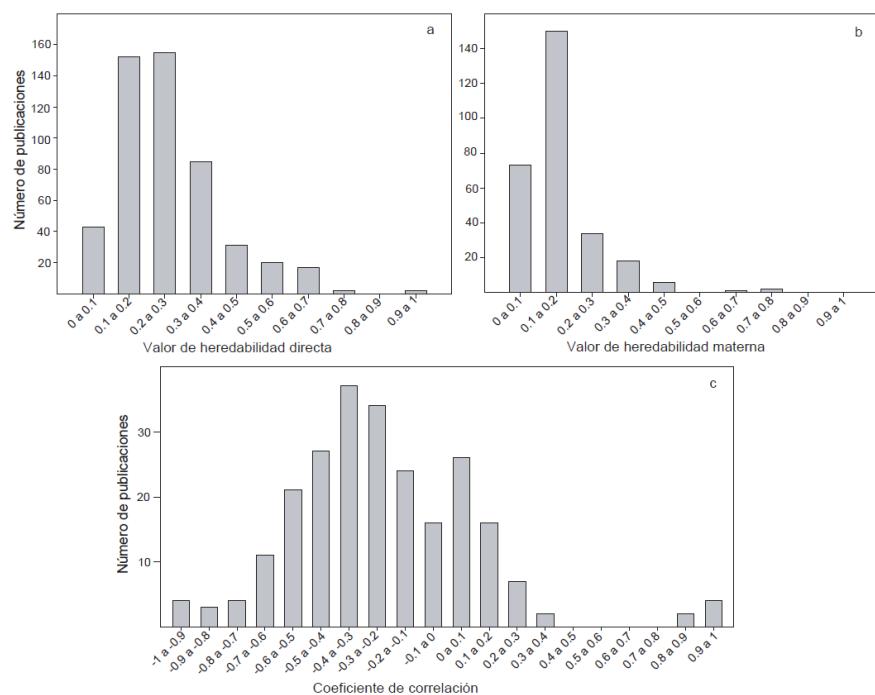


Figura 4. Valores publicados para la heredabilidad directa, materna y su correlación

Como se puede apreciar nuestros estimados son coherentes con la gama de resultados publicados. Las referencias más renombradas sobre el tema son coincidentes en sugerir que estas variaciones se deben a características propias de cada población, de la estructura de parentesco existente o posibles interacciones entre semental padre del ternero y el tiempo (Meyer, 1997; Maniatis and Pollock, 2003; Assan, 2013). La naturaleza del peso al destete muestra que tanto los efectos directos como maternos están indisolublemente asociados, según Wilson and Reale (2006) que realizaron un meta-análisis de 28 publicaciones en bovinos y 20 en ovinos concluyeron que el antagonismo entre ambos efectos es real en términos biológicos. Los resultados sobre PD publicados con el Cebú de Cuba reportan valores muy bajos como resultado de la respuesta a la selección (Guerra *et al.*, 2010; Guillen *et al.*, 2012) lo cual probablemente se relacione a una subestimación de la magnitud real de R_{gdm} .

Existe un consenso general acerca de niveles bajos de h^2 para rasgos reproductivos, no obstante, se reconoce su importancia en los programas de mejora del ganado de carne (Cammack *et al.*, 2009, Johnston, 2014). Los resultados del presente estudio corroboran lo anterior en ganado Cebú de Cuba, también se demuestra que cuando se combinan un carácter con alto nivel de heredabilidad como el PD con un rasgo reproductivo, los resultados pueden ser altamente

benéficos, lo anterior fue demostrado en animales Nelore por Fernandes *et al.* (2015). En primer lugar, los estimados de h^2 se incrementaron notablemente (ver Tabla 3 y 4) lo cual tiene un efecto positivo sobre la precisión del VG, mientras que las correlaciones entre los VG estimados por modelos univariados y bivariados fueron muy cercanos a la unidad (ver Tabla 5). Nuestros resultados son coherentes con los obtenidos en ganado lechero por Kadarmideen *et al.* (2003); Sewalen *et al.* (2010) y por Fernandes *et al.* (2015) en ganado Nelore con resultados muy positivos. Esta alternativa ha sido propuesta por Johnston (2014) para la mejora genética de rasgos reproductivos en ganado de carne a escala global. En ganado del tipo Cebú se han aplicado estos procedimientos estadísticos multivariado (Buzanskas *et al.*, 2010, Guillen *et al.*, 2012; Cavani *et al.*, 2015) con tendencias muy similares a los del presente estudio, sin embargo, estos autores no examinaron sus efectos sobre la precisión de los VG lo cual puede ser determinante en la evaluación de sementales para estos rasgos, particularmente en regiones tropicales donde los sistemas de controles no están bien desarrollados.

Las correlaciones genéticas estimadas por los 5 modelos bivariados (últimas dos líneas de la Tabla 4) arrojaron un patrón según el cual, en las condiciones de esta población de animales Cebú, el aumento del crecimiento propio del animal (efecto directo) tendrá efectos benéficos al disminuir el IPP y IPG, mientras que para NIA y TG las respuestas serán lo contrario. En general, la literatura disponible sobre animales *Bos indicus* presentan tendencias muy similares (Cavani *et al.*, 2015) no obstante, hay que tomar en cuenta la diversidad de criterios para definir los rasgos de peso vivo y comportamiento reproductivo. Otro elemento importante es la estructura de covarianzas donde existe antagonismo, de manera que sus utilizaciones en los programas de selección pueden ser más complejos. En estas circunstancias el uso de ACP puede brindar una solución provechosa.

El uso de ACP puede ser una alternativa prometedora para identificar las posibles relaciones genéticas entre dos grandes factores: uno ligado al crecimiento (y/o desarrollo) y otro vinculado con el comportamiento reproductivo. Lo anterior fue probado con éxito por Buzanskas *et al.* (2012) en animales cruzados entre Charolais y Nelore denominado Canchim en Brasil. Hay que resaltar que en nuestro estudio, el ACP se realizó sobre los VG de los animales, de manera que los estimados de los eigenvalores y sus correspondientes eigenvectores estarán relacionados con una trayectoria que maximiza las (co)varianzas de los rasgos originales que lo componen. En

otras palabras, pueden considerarse como factores de ponderación de un índice del mérito genético de los animales.

Los resultados presentados en la Figura 3 demuestran que la selección según el primer o segundo componente principal producirá respuestas positivas en PD e IPP atenuando los efectos antagónicos de los efectos directos y maternos sobre el peso al destete. En efecto, los VG promedio de los mejores 30 sementales Cebú resaltados en rojo en la Figura 3 fue de +16.8 kg para PD efecto directo; -6.6 kg para efecto materno y -28.9 días para intervalo entre partos. En este caso, si se selecciona a esos mejores 30 sementales, pero considerando su VG para PD, los resultados serían +26.1 kg para PD efecto directo; -11.5 kg para efecto materno y una respuesta colateral de -18.3 días para intervalo entre partos. Aparentemente la respuesta es superior para peso al destete, sin embargo, las mayores pérdidas debidas a efectos maternos anularían estas ventajas y globalmente ambos métodos sería iguales, mientras que los resultados de componentes principales serían superiores al causar un decrecimiento en IPP. Se recomienda aplicar modelos multivariados para incrementar la precisión de los estimados de parámetros genéticos de rasgos reproductivos, debido a que hay un mejor aprovechamiento de las (co)varianzas genéticas al incluir caracteres de mayor nivel de heredabilidad.

Referencias

- Albuquerque, L. G., Mercadante, M. E., Eler, J.P. (2006). Recent studies on the genetic basis for selection of *bos indicus* for beef production. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Assan, N. (2013). Magnitude of correlation between direct and maternal genetic effects for growth traits in ruminants. Scientific Journal of Review (2013) 2(4) 106-112.
- Atencio, A. (2012). Brahman en Venezuela: Pasado, presente y porvenir de la raza. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal (Artículo Científico). Pp 69-71.
http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi_seminario/conferencias/Articulo-7.pdf. Published on Feb 25, 2015.
- Buzanskas, M. E., Savegnago, R.P., Grossi, D.A., Venturini, G.C., Queiroz, L., Silva, O., Torres, R.A., Munari, D.P., Alencar, M. (2012). Genetic parameter estimates and principal

- component analysis of breeding values of reproduction and growth traits in female Canchim cattle. *Reproduction, Fertility and Development* 25(5) 775-781.
- Buzanskas, M.E., Grossi, D.A., Baldi, F., Barrozo, D., Silva, L.O., Torres, R.A., Munari, D.P. (2010). Genetic associations between stayability and reproductive and growth traits in Canchim beef cattle. *Livestock Science* Volume 132, Issues 1-3, Pages 107–112.
- Cammack, K. M., Thomas, M.G., Enns, R.M. (2009). Review: Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle. *The Professional Animal Scientist* 25:517–528.
- Cavani, L., Garcia, D.A., Carreño, L.O.D., Ono, R.K., Pires, M.P., Farah, M.M., Ventura, H.T., Millen, d.D., Fonseca, R. (2015). Estimates of genetic parameters for reproductive traits in Brahman cattle breed. *J. Anim. Sci.* 2015.93:3287–3291.
- Espinoza, V. J.L., Palacios E. A., Luna de la Peña, R., Ávila, S. N, Guerra, I. D., González, P.D., Rodríguez, A. F., Mellado, B. (2007). Estimation of (co)variance components for growth and reproductive traits in Zebu cattle in Cuba. *Arch. Zootec.* 56 (216): 919-927.
- Espinoza, V. J.L., Palacios, E. A., Guerra, I., González, P. D., Ortega, P. R., Rodríguez, A.F. (2008). Comparison of two models for the estimation of parameters and genetic values of weight in Zebu cattle. *Agrociencia* 42: 29-36. 2008.
- Estrada, L. R.J., Magaña, J.G., Segura, C. J.C. (2008). Genetic parameters for reproductive traits in Brahman cows from southeast Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8: 259 – 263.
- Estrada, L. R. J., Magaña, J.G., Segura, C. J.C. (2014). Estimation of genetic parameters for preweaning growth traits of Brahman cattle in Southeastern Mexico. *Trop Anim Health Prod* 46:771–776.
- FAO. <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5442e/x5442e00.htm>, Access 20 de Octubre (2015).
- Fernandes, A. F. A., Neves, H.H., Carvalheiro, R., Oliveira, J.A., Queiroz, S.A. (2015). Body condition score of Nellore beef cows: a heritable measure to improve the selection of reproductive and maternal traits. *Animal*, pp 1-7.
- Gilmour, A.R., Cullis, B.R., Welham, S.J., Thompson, R. (2009). *ASREML3 Reference Manual*. NSW Agriculture Biomathematics Bulletin. NSW Agriculture, Locked Bag, Orange, NSW 2800, Australia.

- Guerra, D., Guillén, A., Espinoza, J.L., Palacios, E.A., Luna de la Peña, R., Dianelys, G.P., Ávila, S.N. (2010). Componentes de (co)varianza del peso al destete en ganado Cebú cubano. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 44, Número 3, 2010. 345-348.
- Guillén, T.A., Guerra, I. D., Ávila, S. N., González, P. D., Palacios, E.A., Luna de la Peña, R., Espinoza, J.L. (2011). Genetic parameters of growth traits in Cuban Zebu cattle. Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 45, Number 2, 117-120.
- Guillén, T. A., Danilo, G. I., Ávila, S. N., Palacios, E. A., Ortega, P. R., Espinoza, V. J.L. (2012). Parameters and genetic trends for weight at weaning and 18 months of age in red Zebu cattle in Cuba. Rev Mex. Cienc. Pecu. 3(1):19-31.
- Johnston, D. J. (2014). Genetic Improvement of Reproduction in Beef Cattle. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver, BC, Canada August 17-22, 2014, manuscript_1333_0.pdf.
http://agbu.une.edu.au/new%20website/publications/10wgcgalp/246_paper_10359_manuscript_1333_0.pdf.
- Kardamideen, H.N., Thompson, R., Coffey, M.P., Kossaibati, M.H. (2003). Genetic parameters and evaluations from single-and multiple-trait analysis of dairy cow fertility and milk production. Livestock Production Science. 81: 183-195.
- Lassen, J. M. K., Madsen, P., Ducrocqt, V. (2007). An approximate multitrait model for genetic evaluation in dairy cattle with a robust estimation of genetic trends. Genet. Sel. Evol. 39: 353–367.
- Lobo, R.N.B., Madalena, F.E., Vieira, A.R. (2000). Average estimates of genetic parameters for beef and dairy cattle in tropical regions. Anim Breed Abstr. 68:433–462.
- Luna de la Peña, R., Guerra, I.D., González, P., Espinoza, V.J.L., Palacios, E.A., Núñez, D. R. (2008). Components of (co)variance for reproductive traits and their genetic relationship to weaning weight in Cuban Zebu cattle. Téc Pecu Méx, 46(3):225-234.
- Maniatis, N., Pollot, G.E. (2003). The impact of data structure on genetic covariance components of early growth in sheep, estimated using an animal model with maternal effects. J. Anim. Sci., 81, 101-108.
- Menéndez-Buxadera, A., Palacios, E. A., Espinoza, V. J.L., Guerra, I.D. (2016). Genotype Environment interactions for milk production traits in Holstein and crossbred Holstein-

- Zebu cattle populations estimated by a character state multibreed model. *Livestock Science* 191:108–116.
- Meyer, K. (1997). Estimates of genetic parameters for weaning weight of beef cattle accounting for direct-maternal environmental covariances. *Liv. Prod. Sci.* 52, 187-199.
- Morales, R., Menéndez-Buxadera, A., Avilés, M., Molina, A. (2013). Direct and maternal genetic effects for pre-weaning growth in Retinta cattle estimated by a longitudinal approach throughout the calving trajectory of the cow. *J. Anim. Breed. Genet.* pp: 1–10.
- Mrode, R.A. (2005). Linear models for the prediction of animal breeding values 2nd ed.
- Panetto, J.C.C., Vald, J.E., Marcondes, C.R., Peixoto, M.G.C., Vernequec, R.S., Ferraz, J.B., Golden, B.L. (2012). Female fertility in a Guzerat dairy subpopulation: Heterogeneity of variance components for calving intervals. *Livestock Science* 145: 87–94.
- Pérez de Utrera, M.P., Guerra, I.D., González, P.D. (2009). Parámetros genéticos del crecimiento y la reproducción en ganado Cebú. *Revista de Medicina Veterinaria* Nº 17 / Enero – Junio: 77-84.
- Pérez, R. (1999). Changes in Cuban livestock production. *World Anim. Rev.* 92, 25–35.
- Plasse, D., Verde, O., Fossi, H., Romero, R., Hoogesteijn, R., Bastidas, P., Bastardo, J. (2002). (Co)variance components, genetic parameters and annual trends for calf weights in a pedigree Brahman herd under selection for three decades. *J. Anim. Breed. Genet.* 119: 141-153.
- Randel, R. D. (2005). Reproduction of Bos indicus breeds and crosses. Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle November 12 and 13, 2005, Texas A&M University, College Station, 20 pag.
- Ríos Utrera, Á. (2008). Estimates of genetic parameters for preweaning growth traits of cattle. *Review. Tec. Pecu. Mex.* 46(1):37-67.
- Rodríguez, Y., Martínez, G., Galíndez, G. (2009). Factores no genéticos que afectan el peso al destete en vacunos Brahmán registrados. *Zootecnia Trop.*, 27(4): 383-391.
- Rodríguez, Y., Guerra, I.D. (2013). Evidence of genotype-environment interaction for final live weight in the performance test of the Cuban Zebu. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 47, Number 1, 13-17.
- Rumph, J.M., Van Vleck, L.D. (2004). Age-of-dam adjustement factors for birth and weaning weight records of beef cattle: a review, *Genetic and Molecular Research* 3(1): 1-17.

SAS. (2002). SAS User's Guide (Release 8.2) Statistics SAS Inst. Inc., Cary North Caroline, USA.

Segura, C.J.C., Magaña, M.J.G., Aké, L.J.R., Segura, C.V.M., Hinojosa, C. J.A., Osorio, A.M.M. (2017). Efectos raciales y ambientales sobre el peso al nacer, peso al destete e interval entre partos en Ganado cebú en el sureste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 20: 297-305.

Sewalen, A., Miglior, F., Kistemaker, J.G. (2010). Analysis of the relationship between workability traits and functional longevity in Canadian dairy breeds. Journal of Dairy Science. 93: 4359-4365.

Willham, R. L. (1963). The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals. Biometrics 19: 18-27.

Wilson, A.J., Reale, D.L. 2006. Ontogeny of additive and maternal genetic effects: Lessons from domestic mammals. The American Naturalist, 167: 23-28.