



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

ESTIMACIÓN DE COMPONENTES GENÉTICOS PARA
CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO
EN BOVINOS DE CARNE EN EL TRÓPICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

HUGO OSWALDO TOLEDO ALVARADO

Asesores:

M.V.Z. Ph.D. José Manuel Berruecos Villalobos
Biol. Ph.D. Carlos Gustavo Vásquez Peláez

Ciudad Universitaria, México, D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres Rosa Ma. Alvarado Gutiérrez y Jorge J. Toledo Ávila así como a mis
hermanos Jorge I. Toledo Alvarado y Rubén O. Toledo Alvarado.

A mi novia Lesly D. Peñúñuri Fdz.

A mis amigos.

A los animales.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores de tesis el Dr. José Manuel Berruecos V., y el Dr. Carlos G. Vásquez P., por su apoyo y conocimiento, de igual manera a los doctores Pedro Ochoa, Hugo Montaldo, Raúl Ulloa y Edgardo Canizal por sus atinadas observaciones.

Expreso mi total gratitud a todas las personas que colaboraron de algún modo para la culminación de este trabajo, al Ing. Miguel Bando Cabañas por facilitarme la información con la cual se realizó esta tesis, a J. Israel Toledo A. por su ayuda con el análisis de la información y a Lesly D. Peñúñuri F. por toda la ayuda y apoyo que me brindó durante todo este trabajo.

Agradezco a mis padres Jorge J. Toledo Ávila y Rosa Ma. Alvarado Gutiérrez porque me han apoyado toda la vida.

También quisiera agradecer a la maestras Guadalupe Sánchez, Frida Salmerón S., Rocío de la Torre y Adriana Ducoing por su guía y amistad.

CONTENIDO

1	Resumen.....	1
2	Introducción.....	2
2.1	Revisión de Literatura.....	2
2.1.1	Situación de la Ganadería en México.....	2
2.1.2	Características Climáticas.....	5
2.1.3	Heterosis en los Sistemas de Producción de Carne.....	6
2.1.4	Características de Crecimiento.....	9
2.1.5	Características Reproductivas.....	10
2.2	Justificación.....	13
2.3	Hipótesis.....	13
2.4	Objetivos.....	13
3	Material y Métodos.....	14
3.1	Variables de Estudio.....	14
3.2	Manejo.....	16
3.3	Análisis.....	16

4	Resultados.....	20
4.1	Peso al Destete Ajustado a 270 días (PD).....	21
4.2	Edad a Primer Parto (EPP).....	23
4.3	Heterosis Retenida (RVH)	23
5	Discusión y Conclusiones.....	25
6	Referencias.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Respuesta a heterosis en la cruce de <i>Bos indicus</i> x <i>Bos taurus</i> para peso al destete ajustado a 270 días (PD).....	32
Figura 2. Respuesta a heterosis en la cruce de tres, cuatro y cinco razas; modelos cuadráticos para peso al destete ajustado a 270 días (PD).....	33
Figura 3. Respuesta a heterosis en la cruce de <i>Bos indicus</i> x <i>Bos taurus</i> para edad a primer parto (EPP).....	34
Figura 4. Respuesta a heterosis en la cruce de 2 y 4 razas; modelos cuadráticos para edad a primer parto (EPP).....	35
Figura 5. Retención de heterosis (RVH) para peso al destete ajustado a 270 días (PD).....	36
Figura 6. Retención de heterosis (RVH) para edad a primer parto (EPP).....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Promedios generales para peso al destete ajustado a 270 días y edad al primer parto en vacas Cebú, Europeas y Cruzadas entre dos o más razas.....	38
Cuadro 2. Análisis de regresión para la selección de los modelos ($P < 0.05$).....	39
Cuadro 3. Coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo de peso al destete ajustado a 270 días (PD).....	40
Cuadro 4. Coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo de edad a primer parto (EPP).....	41

ANEXO

Anexo 1. Coeficientes de regresión (b_1, b_2, b_3) en su forma lineal, cuadrática y cúbica para el porcentaje de genes cebú (C) así como para la heterosis retenida (H), para peso al destete ajustado a 270 días (PD) y edad a primer parto (EPP) , con sus respectivos niveles de significancia (P).....42

1 RESUMEN

TOLEDO ALVARADO HUGO OSWALDO. Estimación de componentes genéticos para características de crecimiento en bovinos de carne en el trópico (bajo la dirección de: MVZ, PhD José Manuel Berruecos Villalobos y Biol, PhD. Carlos Gustavo Vásquez Peláez)

Registros de 1289 hembras con diferentes grados de encaste Cebú (Brahman), con razas *Bos taurus*; Charolais, Pardo Suizo, Simmental, Holstein Friesian, Salers, Limousin, Chianina y Maine Anjou, del estado de Puebla, nacidas en el periodo de 1966 a 2006, fueron usados para estimar la contribución óptima de genes cebuinos para sus características de peso al destete ajustado a 270 días (PD) y edad a primer parto (EPP). Así mismo, se estimó la retención de heterosis (RVH) y su contribución en PD y EPP. Se utilizó un modelo de regresión múltiple para seleccionar las mejores cruzas para las dos características, de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) y al estadístico de Mallow (CP). A partir de estas cruzas seleccionadas, los resultados fueron explicados con modelos cuadráticos y cúbicos; los mejores modelos ($P < 0.05$) se usaron para explicar la contribución del porcentaje de genes Cebú para PD y EPP. La heterosis se manifestó para un PD mayor en un rango de 42-70 % de genes *B. indicus*, mientras que para que la mejor respuesta a la heterosis para tener una EPP menor la encontramos con una proporción de genes Cebú que va del 27% al 40%. La retención de heterosis que mostró mayor potencial para PD fue de 76% a 78% y para EPP de 79% a 92%, indicando que entre mayor retención de heterosis se tiene, se expresa una mejor respuesta para las características productivas.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

La proteína de origen animal es indispensable para una nutrición balanceada en el ser humano, en especial en las primeras etapas de su vida. La carne, en particular la de bovino, constituye una de las principales fuentes de esta proteína en la dieta humana. El crecimiento poblacional, la apertura de nuevos mercados en Asia, Europa y América del Norte, la competencia internacional, así como el aumento permanente en la demanda de este tipo de productos, hacen que la investigación sea una necesidad para impulsar la ganadería y así poder abastecer la demanda interna y externa del país. Las tendencias actuales para superar los problemas de la producción de carne de bovino en México se orientan hacia una mayor eficiencia, integración e inversión en investigación aplicada directa, para que se puedan generar nuevas posibilidades productivas. También es importante considerar el desarrollo en todos los eslabones de la cadena producción-consumo; al mismo tiempo se debe buscar una mejora en los canales de distribución al consumidor, con campañas de mercadotecnia y una mayor consolidación de las unidades productivas.¹

2.1.1 SITUACIÓN DE LA GANADERÍA EN MÉXICO

La población bovina en México está constituida por aproximadamente 28 millones de cabezas.² La disponibilidad *per cápita* de carne de bovino en México en el 2005 fue de 15.5 kg/habitante/año; esto es, 1.4 kg menos que en el 2002 y 0.2 kg más que en el 2004.³ Se estima que para el 2010 el consumo per cápita aumente hasta en un 25%.^{1, 4} En el año 2005 el consumo nacional aparente fue de 1,654,533,000 ton de las cuales 1,557,707,000 ton (85.5%) se produjeron en el país y 240,216,000 ton (14.5%) fueron productos de

importaciones; en ese mismo año se exportaron 143,391,000 ton, esto es 1,730,000 ton menos que en el 2004.³

Para el año 2007 la producción de ganado bovino en pie fue de 3,085,076 toneladas con un precio por kilogramo de \$16.79 pesos, siendo así el valor de la producción de 51,812,667 miles de pesos, en tanto que la producción de carne en canal fue de 1,635,040 toneladas con un precio de \$30.9 pesos, dando un valor de la producción de 50,516,520 miles de pesos, lo que la ubica por encima de la producción de todas las demás especies animales destinadas a la producción de carne, tanto en pie como en canal.²

Salazar *et al.*⁵, estimaron la demanda de productos cárnicos (pollo, cerdo, res) para el 2025, de acuerdo al cálculo de la elasticidad del ingreso de la demanda de los productos, utilizando datos del INEGI; ellos proyectan que el consumo de carne de res pase de 1.6 millones en el 2003 a 2.6 millones para el 2025, siendo la producción nacional insuficiente para cubrir esta demanda.

La ganadería destinada a la producción de carne se distribuye principalmente en cuatro regiones;

Región I. La región Árida y Semi-Árida que comprenden a Baja California Sur, Durango, Zacatecas, Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, exceptuando a Tamaulipas, de la frontera norte,⁶ esta región participa con el 28.1% del Inventario Ganadero (IG) y el 27% de la Producción Nacional (PN);⁷ siendo el sistema más utilizado de vaca-becerro, con la venta de las crías, con fines de exportación al momento del destete, predominando el ganado de composición racial Angus, Charolais y Hereford, en cruzamientos con Cebuinos, Beefmaster y Brangus como genotipos estabilizadores.⁸

Región II. La región Tropical seca que incluye a Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa y Tamaulipas,⁶ con el 20.4% del IG y el 23% de la PN;⁷ el sistema más común es el de vaca-becerro con ordeña estacional en la época de lluvias en áreas cercanas a zonas urbanas; constituye un sistema de doble propósito que busca una mayor liquidez para las explotaciones. Los tipos genéticos dominantes son animales Cebuinos cruzados con Pardo Suizo, Simmental y Holstein Friesian, con parámetros reproductivos regulares, y produce principalmente para el abasto regional y nacional.

Región III. La región Tropical húmeda formada por los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Veracruz, Tabasco y Yucatán,⁶ con el 30.2% del IG y el 33% de la PN;⁷ en esta zona se combina de manera importante el doble propósito, con ordeña estacional y la engorda de las crías en praderas con zacates introducidos y agostaderos con gramas nativas; los tipos raciales que predominan son el Cebuino cruzado con Pardo Suizo, Holstein Friesian, Charolais y Simmental.⁸

Región IV. Por último, la región Templada ubicada en el centro y occidente, la integran los estados de Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala,⁶ con el 21.3% del IG y el 17% de la PN;⁷ la explotación está orientada al sistema vaca-becerro, para el envío de crías al mercado nacional o internacional, dependiendo de su clasificación; el hato está compuesto por animales criollos cruzados con cebuinos y razas europeas, de las cuales sobresalen Pardo Suizo, Angus y Beefmaster.⁷ Las proporciones entre las razas cebuinas (*Bos Indicus*)(BI) y ganado local con cruces de razas europeas (*Bos Taurus*)(BT) son desconocidas ya que son producto de sistemas de cruzamientos desordenados y poco sistematizados.⁹

El establecimiento de programas de mejora genética para optimizar los sistemas de producción actuales y su gradual evaluación, necesita de parámetros genéticos para las diferentes características a seleccionar y mejorar y que permitan predecir los resultados. La estimación de los efectos de cruzamiento es un requisito para optimizar el uso de diferentes razas y cruzamientos en la producción animal.

En animales híbridos también se obtienen valores de acción génica de dominancia, y no sólo de la aditiva, sin embargo, pueden ser utilizados para predecir comportamientos futuros. La ganadería en el trópico ha buscado aumentar la producción a través de cruzamientos; sin embargo, estos se han realizado en forma empírica por lo que es necesario diseñar programas óptimos de selección y cruzamiento, con el fin de generar animales con una mayor producción para la producción cárnica, determinando los cruzamientos óptimos para este fin.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El trópico mexicano corresponde al grupo de climas A (tropicales lluviosos, con temperatura media del mes más frío mayor de 18° C), Los climas de este grupo (Af, Am y Aw) se ubican a lo largo de las vertientes mexicanas tanto del Golfo de México donde comprende desde el paralelo 23° norte hacia el sur a lo largo de la llanura costera y de la base de los declives correspondientes de la Sierra Madre Oriental y de las montañas del norte de Chiapas, en el Pacífico desde el paralelo 24° norte hacia el sur y abarcan desde el nivel del mar hasta una altitud de unos 800 o 1000 metros; también se encuentra en la mayor parte de la península de Yucatán, así como en la Cuenca del Balsas y en la depresión central de Chiapas.¹⁰

2.1.3 HETEROSIS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARNE

La heterosis la podemos definir como la superioridad en producción de animales cruzados sobre sus progenitores de razas puras,¹¹ y se considera que el nivel máximo de heterosis se observa en la F₁ resultante de la cruce de dos razas diferentes. Las cruces subsecuentes van a presentar una disminución en la heterosis conservando una fracción, esta porción que se mantiene se conoce como heterosis retenida o retención del vigor híbrido (RVH).

Se ha prestado mucha atención al comportamiento de las características de numerosas razas y cruces de estas en bovinos. Este énfasis es natural por que las diferencias raciales son una fuente importante en el mejoramiento genético para la eficiencia de la producción de alimentos para el humano a partir del ganado a través de: 1) mejorar hacia razas superiores, 2) heterosis a partir de cruces sistemáticas; 3) desarrollo de nuevas razas.¹²

Los sistemas de cruzamientos tradicionales a partir de animales puros son muy usados para aprovechar la heterosis y complementariedad de las razas, uno comúnmente usado para mantener la heterosis es el cruzamiento alterno de dos razas, pero también se utilizan los sistemas rotacionales de 2, 3 y 4 razas,¹³ sin embargo, presentan desventajas ya que son difíciles de aplicar en hatos pequeños y necesitan de requerimientos adicionales, como razas puras parentales, que representan un costo extra de producción. Por lo que la creación de razas compuestas o “sintéticas” con más de 2 razas es una alternativa en donde se puede beneficiar del efecto de la heterosis retenida y de la complementariedad de las razas, aunque el hato sea pequeño.

Por diversas razones, en condiciones tropicales, la producción de carne con animales *BT* x *BI* se ha difundido ampliamente. Si bien es cierto que las opciones para combinación de genes *BT* y *BI* a través del cruzamiento son muy diversas, se ha evidenciado, de la escasa investigación existente y de experiencias prácticas, que en condiciones tropicales mejoradas,^{14, 15, 16, 17} y en condiciones subtropicales,¹⁸ las vacas F_1 tienen una mayor productividad que las *BI*, debido a que en ellas se expresa un considerable nivel de heterosis para varios caracteres de importancia económica.¹⁹

El uso de animales híbridos ha sido muy estudiado a partir de los resultados obtenidos en animales F_1 *Bos indicus* x *Bos taurus* en la costa del Golfo en el Sur de los Estados Unidos de América;¹⁸ así mismo Koger en 1973 indica la falta de adaptabilidad de animales puros *BI* y *BT*, por lo que los F_1 mostraban mejores resultados y valores altos de heterosis debido a la buena adaptación que tenían a ese específico ambiente aumentando su producción; sin embargo, para que las cruzas expresen todo su potencial es necesario también mejorar el ambiente con pastos de alta calidad.^{18,20}

Dickerson¹², hace referencia a la necesidad de estimar el desempeño de animales cruzados con diferentes tipos raciales, proponiendo un cuadro en donde toma en cuenta los efectos aditivos individuales y maternos, los efectos de heterosis individuales y maternos así como las pérdidas por recombinación, para 1, 2, 3 y 4 razas así como para sistemas de cruzamientos rotacionales de 2, 3 y 4 razas, para estimar el desempeño en producción esperado relativo.

La producción de machos F_1 a partir de vacas *BI* y razas paternas *BT* con 10 a 20 % del rebaño ha sido exitosa. Si se asigna una proporción mayor de vacas a este sistema, el

bajo porcentaje de hembras de reemplazo Cebú no garantizará un progreso genético adecuado en este rebaño. Tanto el uso de toros Criollo en servicio natural como también el uso estratégico de la inseminación artificial han sido funcionales en condiciones extensivas. Sin embargo, el uso de toros *BT* diferentes al Criollo en servicio natural ha sido sumamente costoso y difícil por su baja adaptabilidad al trópico y el uso de la inseminación en vacas lactantes en explotaciones extensivas no ha tenido buenos resultados.²⁰

Koch *et al.*²¹ estimaron el efecto de la heterosis para cruza F_1 , la retención de heterosis para F_2 y F_3 , de ganado Angus y Hereford, encontrando diferencias entre razas donde Angus tenía una edad al parto menor que la Hereford, sin embargo los becerros presentaron un peso al nacimiento menor así como menores ganancias de peso y menor fertilidad, al estimar los efectos de la heterosis esta fue significativa para una menor edad al parto, mayor peso al nacimiento, mayores ganancias de peso y una canal mas pesada.

López *et al.*²² recientemente mostraron el efecto de la heterosis para bovinos productores de leche en el trópico en diferentes características de producción, identificando la proporción óptima de genes *B. taurus* sobre genes *B. indicus* en 78% para producción de leche por lactancia y 70.3% para producción de leche por vaca por día. Mientras que para producción de leche por día de intervalo entre partos y por día de vida en el hato ubicó la proporción de 50% y 61% respectivamente, por lo concluye que la proporción optima de genes *B. taurus* se encuentra entre el 50 y 80% para expresar un mayor producción de leche.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO

Los primeros estimadores de crecimiento para ganado bovino en México (Brahman en condiciones tropicales) fueron obtenidos en 1968 por Berruecos y Robinson.²³ Actualmente se tienen reportes sobre la estimación de parámetros genéticos de crecimiento en ganado bovino de carne en algunas razas: en Charolais, con estimadores de heredabilidad para peso al nacimiento, peso al destete ajustado a 205 días y ganancia posdestete de 0.22, 0.33 y 0.45 respectivamente;²⁴ en Simmental, reportando heredabilidades para peso al nacimiento aditivo directo 0.40 y 0.12 para el aditivo materno; para peso al destete aditivo directo es de 0.33 y 0.19 para el aditivo materno;^{25, 26} y en Cebú, con valores para las heredabilidades para efectos directos 0.00 a 0.32, 0.22 a 0.27, 0.25 a 0.26, 0.12 a 0.23, y 0.27, para peso al nacimiento, peso al destete, peso a los 365 días, peso a los 550 días y ganancia diaria de peso, respectivamente.^{27, 28}

Se han realizado diversos estudios para determinar las características de crecimiento. Chirinos *et al.*²⁹, evaluaron el crecimiento predestete de becerros mestizos *BT x BI* teniendo como resultados de promedio de peso al destete para los animales con predominio racial Holstein de 159.3 ± 4.3 kg, para los animales con predominio racial Pardo Suizo de 160.0 ± 5.0 kg, y para los animales con predominio racial Brahman de 159.1 ± 4.8 kg, sin establecer los porcentajes de genomas de cada cruce.

Rosales-Alday *et al.*²⁵, estimaron la heredabilidad para ganado mexicano Simmental usando el modelo animal; los valores para peso al nacimiento de 0.40 para el aditivo directo y de 0.12 para el aditivo materno; para peso al destete estimaron heredabilidades de 0.33 para el aditivo directo y 0.19 para el aditivo materno, y las correlaciones para efectos

aditivos directos y maternos fueron negativos, recomendando un balance adecuado entre los dos efectos.

2.1.5 CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS

Para evaluar la magnitud de heterosis en un determinado ambiente, es necesario comparar los cruces F_1 con ambos genotipos puros paternos. Por eso, tales valores existen en América Latina tropical solamente para cruces entre Criollo y *BI*. Los valores promedios (amplitud de variación entre experimentos, en paréntesis) han sido para los distintos caracteres: Edad a pubertad, -11 %; peso a pubertad, 11 %; porcentaje de preñez, 14 % (9-16 %); peso al destete, 11 % (9-13 %); peso postdestete 16 % (12-19 %) ¹⁵. En cruces entre Cebú y razas *BT* diferentes a Criollo no se puede evaluar la heterosis por falta de adaptación de éstas en forma pura. Por tal razón, estos cruces se comparan normalmente con *BI*, que en el trópico es la única alternativa de producción. ²⁰

De la Peña *et al.*, ³⁰ encontraron que la heredabilidad para ganado Cebú cubano para los caracteres reproductivos fue baja (0.01-0.09), las correlaciones genéticas entre días abiertos e intervalo a la primera inseminación por lo general fueron altas, y su correlación genética con el peso al destete fue baja (0.04-0.07).

Martínez *et al.*, ³¹ realizaron un estudio sobre los efectos directos, maternos y heterosis individual para características reproductivas para animales Criollo, Guzerat y sus cruces F_1 , teniendo como resultados significativos únicamente en la heterosis individual para tasas de estro (20%), gestación (15%), parición (13%) y destete (13%). Y para efectos maternos, para la tasa de parición de 15% a favor de los animales criollos, recomendando la viabilidad de programas de producción de becerros con animales cruzados.

Franke D.E.,³² menciona que el uso de animales de raza pura Brahman (*Bos indicus*) criados en el sur de los EUA, reporta menores porcentajes de pariciones, supervivencia y destete que otras razas aunque en algunos estudios se muestre que sean superiores o competitivos. Los pesos al nacimiento se encontraron mayores que el Angus y menores que el Charolais y comparables con los del Hereford. Así mismo los novillos Brahman reportan menores ganancias diarias, menores rendimientos en canal y menos grasa dorsal. La heterosis estimada para valores reproductivos ha sido menor y variable para producir novillos F₁, pero mayores y positivos para características reproductivas en vacas F₁. El promedio por heterosis para peso al nacimiento fue de 3.3 y para ganancia de peso fue de 21.7 para los novillos F₁, mientras que el promedio por heterosis para peso al nacimiento fue de 1.9 y para ganancia de peso fue de 31.1 para los novillos de las vacas F₁. Se reportó 15% más de supervivencia de las crías en la cruce Brahman-Hereford que en las razas puras, mientras que el porcentaje de pariciones no varió en la cruce Brahman y Hereford o Shorthorn.

Las heterosis estimadas para las vacas F₁ fueron positivas para las características reproductivas; para la proporción de pariciones para vacas Brahman-Hereford fue de 4.4%³³ a 18.8%.³⁴

Cundiff *et al.*,³⁵ estudiaron los efectos de la heterosis en características reproductivas en cruces de ganado europeo *BT* (Hereford, Angus y Shorthorn), siendo 6.4 mayor el porcentaje de terneros destetados para las vacas cruzadas que para las de raza pura, la dificultad de parto fue menor en vacas cruzadas que en las líneas puras, así mismo el intervalo entre parto y primer estro fue 2.7 días más corto en promedio en las vacas cruzadas que en las líneas puras. En promedio las vacas cruzadas concibieron 2.8 días antes

que las razas puras, esto como resultado de la heterosis en la crucea recíproca Hereford-Shorthorn. Sin embargo, la ventaja promedio de la edad a concepción (-1.6 días) fue compensada por una gestación más larga (1.2 días). La crucea Angus-Hereford fue mejor que la crucea Hereford-Angus para el promedio de preñez.

2.2 JUSTIFICACIÓN

La estimación de la proporción de alelos *Bos taurus* y *Bos indicus* en los individuos se manifiesta en la mejora de características productivas y reproductivas del ganado de carne, pudiendo establecer cruzamientos dirigidos para los sistemas de producción de carne en el trópico en el país.

2.3 HIPÓTESIS

Las características de crecimiento y reproducción, dependen de la proporción de genes *Bos taurus* y *Bos indicus*, en los bovinos.

2.4 OBJETIVOS

Dado lo anterior, el propósito del presente estudio fue determinar la complementariedad entre la proporción de genes *Bos taurus* y *Bos indicus* sobre el peso al destete y la edad al primer parto en vacas cruzadas en el trópico mexicano.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 1289 registros de hembras con diferente grado de encaste Cebú (Brahman), con razas *Bos taurus*; Charolais, Pardo Suizo, Simmental, Holstein Friesian, Salers, Limousin, Chianina y Maine Anjou, obtenidos del Rancho “La Carolina”, ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla, (paralelos 19° 51’ 03” y 20° 12’ 42” de latitud Norte y los meridianos 97° 12’ 48” y 97° 22’ 42” de longitud Occidental), nacidas en el periodo de 1966 a 2006; los registros se capturaron en el programa Microsoft Office Excel 2007 a fin de integrarla para su posterior análisis, contando con la siguiente información:

- Identificación de la vaca.
- Genealogía de la vaca (madre, padre, abuelos maternos y abuelos paternos).
- Raza de los padres y composición genética (porcentaje de alelos cebú y europeo).
- Fecha y peso al nacer.
- Fecha y peso al destete.
- Fecha de primer parto.

3.1 VARIABLES DE ESTUDIO

El peso al destete fue ajustado a 270 días (PD) en forma lineal:

$$PD = \left(\frac{\text{Peso al destete} - \text{Peso al nacer}}{\text{Días al Destete}} \right) * 270 + \text{Peso al nacer}$$

La edad a primer parto (EPP) en días se calculó mediante la diferencia entre fechas:

$$EPP = ((App - An) * 365 + (Mpp - Mn) * 30.25 + (Dpp - Dn))$$

Donde:

EPP es la edad a primer parto;

App es el año del primer parto de la vaca;

An es el año de nacimiento de la vaca;

Mpp es el mes del primer parto de la vaca;

Mn es el mes de nacimiento de la vaca;

Dpp es el día del primer parto de la vaca;

Dn es el día de nacimiento de la vaca;

Se estimó la heterosis retenida (RVH) como:³⁶

$$RVH = \left(1 - \sum_{i=1}^n P_{s_i} P_{m_i} \right)$$

Donde:

P_{s_i} es la proporción de la *i-ésima* raza del padre;

P_{m_i} es la proporción de la *i-ésima* raza de la madre;

n es el número total de razas involucradas.

Se identificó la contribución de nueve razas generando diferentes cruzamientos con varios grados de encaste sobre hembras cebú y cruzadas con diferente grado de encaste, por lo que el análisis de retención de heterosis o vigor híbrido puede ser identificado de acuerdo a la proporción de la raza materna y paterna, se identificaron 90 diferentes sementales de raza: Cebú 16; Charolais 22; Suizo Pardo 19; Simmental 10; Holstein 16; Salers 3;

Limousine 1; Chianina 1; Maine Anjou 1; y 50 sementales cruzados en diferentes proporciones entre estas razas desde 6.25% a 75% .

3.2 MANEJO

La base de la alimentación es en pastoreo rotacional de gramas tropicales, manteniendo grupos de hembras de número variable; el apareamiento se realiza con monta natural controlada e inseminación artificial con semen importado de Estados Unidos de América, seleccionando la raza del toro de acuerdo a la composición racial de las vacas, por lo que los porcentajes de razas son variables teniendo desde animales puros hasta animales con la contribución de 5 tipos raciales diferentes.

3.3 ANÁLISIS

Se realizó un análisis de regresión múltiple (SASv9; *proc reg, selection, rsquare, cp*)³⁷ a fin de identificar el efecto de las composiciones raciales sobre las características de PD y EPP, con base en el valor del estadístico de Mallows (*CP*) y del coeficiente de determinación (R^2), de las cruza relevantes entre *Bos indicus* y los distintos tipos raciales de *Bos taurus*.

El coeficiente de determinación (R^2) se estimó de acuerdo a la razón de la suma de cuadrados:³⁸

$$R_p^2 = 1 - \left(\frac{SSE_p}{SSTO} \right)$$

donde:

R_p^2 es el coeficiente de determinación para p parámetros;

SSE_p es la suma de cuadrados del error con p parámetros;

$SSTO$ es la suma de cuadrados total.

Así mismo el estadístico de Mallow se estimó a partir de:³⁸

$$C_p = \frac{SSE_p}{MSE(X_1, \dots, X_{p-1})} - (n - 2p)$$

donde:

C_p es el estadístico de Mallow para p parámetros;

SSE_p es la suma de cuadrados del error con p parámetros;

MSE es el cuadrado del error de la media;

n es el número de observaciones.

El análisis se realizó con un modelo que incluyó los efectos ambientales, como son año (agrupándolo en 5 categorías cada una con el 20% de los datos desde 1966 hasta el año 2006) y época de nacimiento (que se agrupó en dos: de abril a septiembre y de octubre a marzo) dependiendo de la época de lluvias, mientras que el porcentaje de genes *Bos indicus* (C) se incluyó como covariable, para estimar las proporciones óptimas de BI y BT de acuerdo al siguiente modelo:³⁹

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + b_1 C_k + b_2 C_k^2 + b_3 C_k^3 + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es la observación aleatoria del peso al destete ajustado y/o edad a primer parto;

μ es la media general;

A_i es el efecto del i -ésimo año;

E_j es el efecto de la j -ésima época de nacimiento;

C es el porcentaje de genes *Bos indicus*;

b_1, b_2, b_3 son los coeficientes de regresión para C , en su forma lineal, cuadrática y cúbica;

e_{ijkl} el error experimental. $DNI \sim (0, \sigma^2)$

También se utilizó un modelo que incluyó los efectos ambientales de año y época de nacimiento, mientras que el valor de RVH (H) se incluyó como covariable, para estimar el valor de RVH óptimo para PD y EPP de acuerdo al siguiente modelo:³⁹

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + b_1 H_k + b_2 H_k^2 + b_3 H_k^3 + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es la observación aleatoria del peso al destete ajustado y/o edad a primer parto;

μ es la media general;

A_i es el efecto del i -ésimo año;

E_j es el efecto de la j -ésima época de nacimiento;

H es la heterosis retenida (RVH);

b_1, b_2, b_3 son los coeficientes de regresión para H , en su forma lineal, cuadrática y cúbica;

e_{ijkl} el error experimental. $DNI \sim (0, \sigma^2)$

Con objeto de estimar la mejor proporción de la raza(s) europea(s) con el cebú se utilizó el método *stepwise* (SAS v9) definiendo el mejor modelo de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) y el estadístico de Mallows (CP); el mejor modelo se graficó con el programa *MatLab* (con el procedimiento *plots*) y se obtuvieron el o los puntos de inflexión de acuerdo a la derivada $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ (MatLab; *roots*)⁴⁰ para ubicar los valores óptimos de heterosis con el fin de obtener la mejor respuesta en el PD y EPP en la cruce de *BI* con *BT*.

4 RESULTADOS

Dado que la heterosis puede ser explicada por la complementariedad de los alelos de *B. indicus* y *B. taurus* y medida en el comportamiento fenotípico de la progenie en la característica de interés.

El Cuadro 1, muestra los promedios generales para las características de peso ajustado al destete (270 días) y edad a primer parto en vacas de raza “pura” y cruzados con diferente grado de encaste. Si bien el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre la raza cebú con las europeas y las cruza en ninguna de las variables estudiadas esto fue debido a que la variación observada en la raza cebú es cinco veces mayor en peso al destete y 3 veces mayor en edad al primer parto con respecto a las razas europeas y 11 veces mayor con respecto a las vacas cruzadas, siendo los animales cruzados y europeos más homogéneos en su respuesta.

El cuadro 2 muestra el análisis de regresión múltiple para peso al destete ajustado y edad al primer parto donde se identifica la contribución del cruzamiento de dos, tres o más razas ($P < 0.05$) sobre las variables estudiadas, estos resultados muestran que las razas Cebú y Simmental son las que mayor contribuyen en la explicación de la variación tanto de peso al destete ajustado como de edad al primer parto siendo 43.13% y 9.09% respectivamente.

En el análisis de tres o más razas se observó que para peso ajustado al destete la contribución de sementales de raza Salers o Charolais incrementan la respuesta en 12% y 4% respectivamente, mientras que el uso de cuatro razas incrementa en 12.57% para la característica de peso al destete ajustado. Sin embargo, con respecto a Edad al primer parto solo se observa un incremento menor al 1% con la cruza de tres o más razas.

En el cuadro 3 se muestran los coeficientes de determinación (R^2) y significancia ($P<$) de los modelos lineal, cuadrático y cúbico de las cruzas entre *B. indicus* con razas europeas para PD ajustado a 270 días; En la cruce con *B. taurus*, considera la contribución igual de todas las razas europeas analizadas en este estudio, observando que el modelo cuadrático explico el 23.8% ($P<0.01$), mientras que el modelo cúbico incremento en 0.04% ($P<0.01$), este resultado sugiere que existe una complementariedad de los genes Cebú y razas europeas para peso al destete. Esta heterosis, es mayor cuando existe la combinación de tres o más razas, tal es el caso de Cebú x Charolais x Pardo Suizo ($R^2=0.1469$; $P<0.0051$); Cebú x Charolais x Simmental ($R^2=0.3016$; $P<0.0001$); Cebú x Charolais x Simmental x Salers ($R^2=0.3225$ $P<0.0001$) y Cebú x Charolais x Pardo Suizo x Simmental x Salers ($R^2=0.2411$; $P<0.0001$).

Con respecto a edad a primer parto, los coeficientes de determinación (R^2) y significancia ($P<$) se muestran en el cuadro 4, estos resultados muestran que existe complementariedad entre los genes *B. indicus* con *B. taurus* expresado por el modelo cuadrático ($R^2=0.1843$; $P<0.0001$) y cúbico ($R^2=0.1845$; $P<0.0001$). Sin embargo, la mayor respuesta a heterosis se observó en la cruce de Cebú x Simmental ($R^2=0.4796$; $P<0.0334$).

4.1 PESO AL DESTETE AJUSTADO A 270 DÍAS (PD)

La respuesta a heterosis para de *B. indicus* x *B. taurus*, se muestra en la figura 1. El modelo cuadrático: $PD= 222.3608+0.66*C-0.0066*C^2$ ($R^2=0.238$; $P<0.01$) y el efecto cúbico $PD=220.9872+0.93*C-0.0158*C^2+0.00008*C^3$ ($R^2=0.239$; $P<0.01$), estos resultados muestran que la mayor respuesta de heterosis se logra cuando la proporción de alelos cebuínos se encuentra en el rango de 42.1% al 49.77%, siendo el PD de 237-239 kg.,

sin embargo, estos resultados contemplan que el complemento de raza europea contribuye igualmente en la característica, siendo que cada raza puede contribuir positiva o negativamente.

La figura 2 muestra el análisis por raza; la cruce de *BI* x Charolais x Pardo Suizo tuvo la mayor respuesta de PD ajustado cuando existe un 36.5% de genes *BI* con 220.13 kg explicado por el modelo cuadrático $PD=216.1266+0.2191*C-0.0029*C^2$ ($R^2=0.1469$; $P<0.05$). Así mismo la cruce de *BI* x Charolais x Simmental, tiene el mayor PD ajustado cuando existe el 70.75% de genes *BI* y es explicada por el modelo cuadrático $PD=214.7215+0.8596*C-0.0061*C^2$ con un PD ajustado de 245.13 kg. ($R^2=0.3016$; $P<.0001$). La cruce de cuatro razas: *BI* x Charolais x Simmental x Salers, es explicada por el modelo cuadrático $PD=216.6918+0.8010*C-0.006*C^2$ con un valor optimo de genes *BI* de 66.5% con un peso de 243.72 kg. ($R^2=0.3225$; $P<.0001$). Por lo que podemos ubicar la mejor respuesta a heterosis dentro del rango de 36.5% a 70.75% de genes *BI* en la contribución de 3 y 4 razas, teniendo el mayor peso en la cruce *BI* x Charolais x Simmental, esto puede ser explicado por una mejor adaptabilidad al medio ambiente debido a la complementariedad de las razas involucradas. Así mismo en la cruce de cinco razas: *BI* x Charolais x Pardo Suizo x Simmental x Salers, se mostró la mejor respuesta con un porcentaje de genes *BI* de 49.94%, con un peso de 236.08 kg y es explicada por el modelo cuadrático $PD=220.0803+0.64*C-0.0064*C^2$ ($R^2=0.2411$; $P<.0001$), sin embargo, es menor la respuesta que en la cruce con Charolais y Simmental. La cruce de cinco razas muestra una relación similar a la presentada para la cruce *BI* x *BT* cercana al 50% de genes *BI*.

4.2 EDAD A PRIMER PARTO (EPP)

La respuesta a heterosis para edad a primer parto en la crucea *B. indicus* x *B. taurus*, se muestra en la figura 3, el efecto del porcentaje de alelos de origen cebuino fue explicado por el modelo cuadrático: $EPP=1069.46-0.8531*C+0.01061*C^2$ ($R^2=0.1843$; $P<0.0001$) y por el modelo cúbico $EPP=1073.6515-1.6793*C+0.0369*C^2-0.0002*C^3$ ($R^2=0.1845$; $P<0.0001$) teniendo la mejor respuesta de EPP cuando el porcentaje de genes *BI* se encontró en el rango de 30.04% a 40.24% con una edad a primer parto de 1052.31 días.

La figura 4 muestra las cruces de *BI* x Simmental que es explicada por el modelo cuadrático $EPP=1218.726-8.819*C+0.1436*C^2$ ($R^2=0.4796$; $P=0.0334$) teniendo la mejor respuesta a heterosis con un 30.68% de genes cebuinos con 1083.41 días de EPP y la crucea de cuatro razas: *BI* x Charolais - Pardo Suizo - Simmental que fue explicada por el modelo cuadrático $EPP=1073.87-0.2732*C+0.00494*C^2$ ($R^2=0.1783$; $P<0.0001$) con una proporción de genes cebuinos de 27.65% obteniendo la EPP más baja se obtiene con 1070.10 días.

4.3 HETEROSIS RETENIDA (RVH)

Debido al origen de los datos, característico de las ganaderías productoras de carne en sistemas extensivos en el trópico, el uso de cruzamientos donde se incluyen varias razas que exista una gran variación de los animales; por lo que la estimación de heterosis retenida (RVH) permite establecer el comportamiento fenotípico en función de la contribución de los progenitores ya sean puros o cruzados. Con respecto a peso al destete ajustado se observó un aumento a medida que el grado de heterosis fue aumentando alcanzando la mayor respuesta en los niveles de 76% a 78% de retención de heterosis distribuido en

diferentes razas y se muestra en la figura 5, observando un incremento de 0.276 kg por cada unidad de incremento de retención de heterosis, y explicado por el modelo cuadrático $PD=209.2959+55.59*H-36.36*H^2$ ($R^2=0.2370$; $P<.0001$) y con el modelo cúbico $PD=215.33+5.42*H+70.65*H^2-63.12*H^3$ ($R^2=0.2375$ $P<.0001$) con un peso al destete ajustado máximo de 232.58 kg.

La figura 6 muestra la retención de heterosis óptima para tener una menor EPP y fue explicado por el modelo cuadrático $EPP=1070.26-59.9331*H+32.5085*H^2$ ($R^2=0.1792$; $P<.0001$) y por el modelo cúbico $EPP=1045.57+236.38*H-699.24*H^2+461.27*H^3$ ($R^2=0.1813$; $P<.0001$) ubicando la proporción de retención de heterosis óptima entre un 79% y un 92% con un valor mínimo de 1023.33 días de edad a primer parto.

En el anexo 1 se muestran los coeficientes de las regresiones para todos los modelos, tanto para PD, EPP y RVH, en su forma lineal, cuadrática y cúbica, con su respectivo nivel de significancia.

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El crecimiento de un animal impacta directamente sobre el desempeño de este sobre todo el proceso productivo, influyendo en características como el PD y la EPP.

Se ha discutido en varias publicaciones, el efecto benéfico que tiene la heterosis sobre las características productivas, llegando a ser muy popular y conocido como vigor híbrido. Para este fin, con más frecuencia se utilizan cruzas entre ganado *BI* y *BT*; las proporciones, por lo regular, se manejan en fracciones.

La proporción más frecuentemente usada es la de $3/8$ *BI*- $5/8$ *BT*, teniendo buen comportamiento; sin embargo, los resultados muestran que la heterosis se manifiesta en un rango de 42-70 % de genes *B. indicus* para PD; es decir aproximadamente $2/5$ a $3/5$ de *BI* aproximadamente que bien puede considerarse como al efecto esperado de vigor híbrido en la F_1 (50 % de cada raza).

Para la característica reproductiva EPP se puede concluir que la mejor respuesta a la heterosis para tener una menor edad a primer parto la encontramos con una proporción de genes cebuínos que va del 27% al 40%, teniendo la menor edad con 1051 días, siendo esto aproximadamente $3/10$ de *BI* y $7/10$ de *BT* aproximándose, un poco más de la relación comúnmente usada de $3/8$ *BI* y $5/8$ *BT*.

La retención de heterosis que mostró mayor potencial para PD fue de 76% a 78% y para EPP de 79% a 92%, indicando que entre mayor retención de heterosis se tiene una mejor respuesta se expresa para las características productivas, concordando con lo que refiere la bibliografía.

Por lo tanto, no tenemos una proporción racial que sea óptima para todas las características; además, esto dependerá tanto de las razas usadas, como de la característica que estemos deseando mejorar. El uso de razas compuestas o sintéticas es una opción viable para mejorar los sistemas de producción y en términos generales, con las proporciones encontradas en el presente trabajo.

6 REFERENCIAS

1. Zorrilla RJ. Posibles panoramas de la producción de carne de bovino para México en los próximos cinco años (2007 – 2012). División de Ganadería, VIMIFOS, 2007.
2. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Resumen Nacional Población Ganadera, Avícola, Apícola. Reporte. SAGARPA. México, 2007.
3. Coordinación General de Ganadería. Estimación del Consumo Nacional Aparente 1990-2005 Carne de bovino. Estadísticas, SAGARPA, México, 2008.
4. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 4º Encuentro Nacional Ganadero. Boletín. México, 2007.
5. Salazar AJ, Cervantes EF, Gómez CM, Samarendu M, Malaga J. La demanda de productos pecuarios en México por deciles de ingreso: Proyección al año 2025. *Téc Pecu Méx*, 2006; 44(1):41-52.
6. Iniciativa Mexicana para el Aprendizaje y la Conservación. Ganadería, Estado Actual. IMAC, Documentos, 2008.
7. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). Análisis de Rentabilidad y competitividad de las Principales Actividades Ganaderas Financiadas por FIRA. Boletín Informativo Michoacán, México, 1993.
8. Suárez-Domínguez H, López-Tirado Q. La ganadería bovina productora de carne en México. Situación actual., Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México, 2007.
9. Ponce RS. Estimación de componentes de varianza y covarianza e una población multirracial de ganado bovino dentro de un sistema de doble propósito en el trópico Mexicano (Tesis de Maestría), México: FMVZ, UNAM, 2006.

10. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana. 3ra ed. México: Instituto de Geografía- UNAM, 1973.
11. Falconer DS, Introducción a la genética cuantitativa. Agricultural Research Council's of Animal Genetics, University of Edinburgh, Inglaterra, 1970.
12. Dickerson GE. Experimental approaches in utilizing breed resources. Animal breeding abstracts, USA, 1969; 37:191.
13. Berruecos JM. Mejoramiento Genético de los Animales Domésticos. (Versión CD), Educa Consultores, México, 2009.
14. Plasse D. El uso del ganado Criollo en programas de cruzamiento para la producción de carne en América Latina. En: Mueller-Haye y J. Gleman (Eds.). Recursos Genéticos Animales en América Latina. Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal N°22. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1981; pp 77-107.
15. Plasse D. Crossbreeding results from Beef Cattle in the Latin American Tropics. Animal Breeding Abstracts, 1983; 51(11):779-797
16. Plasse D. Estrategias de cruzamiento en ganado de carne. II Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias. Maracay, Venezuela. 1986, pp VIII, 1 – VIII, 18.
17. Plasse D. Results from crossbreeding *Bos taurus* and *Bos indicus* in Tropical Latin America. Mem. III Congreso Mundial de Reproducción y Mejoramiento de Ovinos y Bovinos de Carne. INRA Publ. Paris, Francia. Mem. 1988, Vol. 2: pp 73-92.

18. Koger M, Cunha T J, Warnick AC (Editores). Crossbreeding Beef Cattle. Series 2. University of Florida Press, Gainesville. Fla., USA. 1973, 459 pp.
19. Romero R, Plasse D, Camaripano L. Producción de vacas F1 (*Bos taurus* x *Bos indicus*) apareadas con toros cruzados en un hato al sur de Barinas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias. Barinas, Venezuela, 1997.
20. Plasse D. Cruzamiento en bovinos de carne en América Latina tropical: que sabemos y que nos falta saber. III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias, Maracay, Venezuela. publicado en; I.J. Nunes, F.E. Madalena y M. de Almeida e silva (Eds). Anais do III Simpósio Nacional de Melhoramiento Animal. Sociedad Brasileira de Melhoramiento Animal, Belo Horizonte, Brasil, 5-8 de junio, 2000. pp 165-179.
21. Koch RM, Dickerson GE, Cundiff LV, Gregory KE. Heterosis retained in advanced generations of crosses among Angus and Hereford cattle. J Anim Sci, 1985; 60 (5):1117-1131.
22. López OR, García CR, García MJG, Ramírez VR. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. Téc Pecu Méx, 2009; 47(4):435-448.
23. Berruecos JM, Robinson OW. Factores que afectan el crecimiento durante la lactancia en el ganado Brahman, Téc Pecu Méx, 1968; 11:5-10.
24. Ríos U, Martínez VG, Tsuruta S, Bertrand JK, Vega MV, Montaña BM. Estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento de ganado Charolais mexicano. Téc Pecu Méx, 2007; 45 (2):121-130.

25. Rosales AJ, Elzo MA, Montaña BM, Vega MV. Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento predestete en la población mexicana de Simmental. *Téc Pecu Méx*, 2004;42(2):171-180.
26. Rosales AJ, Elzo MA, Montaña BM, Vega MV, Reyes VA. Parámetros genéticos para pesos al nacimiento y destete en ganado Simmental-Brahman en el subtrópico mexicano. *Téc Pecu Méx*, 2004;42 (3): 333-346.
27. Martínez GJ, Castillo RS, Lucero MF, Ortega RE. Influencias ambientales y heredabilidad para características de crecimiento en ganado Sardo Negro en México. *Zootecnia Trop. INIA, Venezuela*, 2007;25(1).
28. Parra BG, Martínez. GJ, Cienfuegos RE, García EF, Ortega RE. Parámetros genéticos de variables de crecimiento de ganado Brahman de registro en México. *Rev. Vet. Méx.*, 2007; 38(2): 217-229 .
29. Chirinos Z, Rincón E, Madrid-Bury N, González-Stagnaro C. Crecimiento predestete de becerros meztizos *Bos taurus x Bos indicus*. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 1997; 5(Supl.1): 497-499.
30. Luna de la PR, Guerra ID, González PD, Espinoza VJ L, Palacios EA, Núñez DR. Componentes de (co)varianza de caracteres reproductivos y su relación genética con el peso al destete en el ganado Cebú de Cuba. *Téc Pecu Méx* 2008; 46(3):225-234.
31. Martínez VG, Montaña BM, Palacios FJA. Efectos genéticos directos, maternos y heterosis individual para tasas de estro, gestación, parición y destete de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas F1. *Téc Pecu Méx* 2006; 44(2):143-154.
32. Franke DE. Breed and heterosis effects of American Zebu Cattle. *J Anim Sci*, 1980; 50:1206-1214.

33. Crockett JR, Koger M, Franke DE. Rotational Crossbreeding of Beef Cattle: Preweaning Traits by Generation. *J Anim Sci*, 1978; 46:1170-1177.
34. Turner JW, Farthing BR, Robertson GL. Heterosis in Reproductive Performance of Beef Cows. *J Anim Sci*, 1968; 27:336-338.
35. Cundiff LV, Gregory KE, Koch RM. Effects of heterosis on Reproduction in Hereford, Angus and Shorthorn Cattle. *J Anim Sci*, 1974; 38:711-727.
36. Bourdon RM. *Understanding Animal Breeding*. 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, 2000.
37. SAS. Institute, Inc. *SAS/STAT Users Guide*, version 9.2 ed. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute Inc., 1997.
38. Neter J, Wasserman W, Kunter MH. *Applied linear regression models*. Second Edition, Irwin, Inc., USA, 1989.
39. Mrode RA, Thompson R. *Linear models for the prediction of animal breeding values*. Second Edition, CABI Publishing, USA, 2005.
40. The MathWorks, Inc., *User MATLAB 7, Getting Started Guide*, USA, The MathWorks, Inc. 2009.

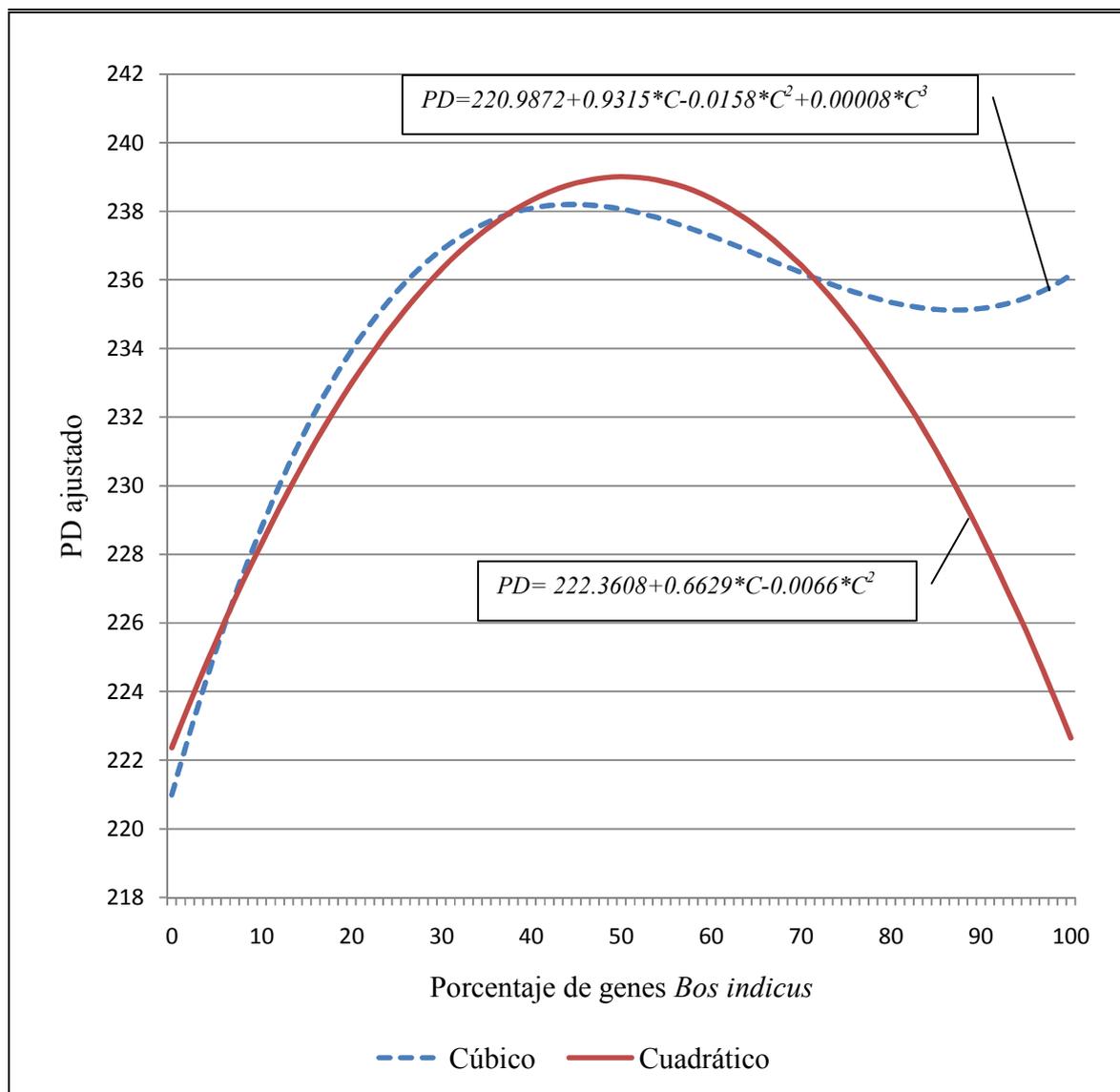


Figura 1. Respuesta a heterosis en la cruce de *Bos indicus* x *Bos taurus* para peso al destete ajustado a 270 días (PD).

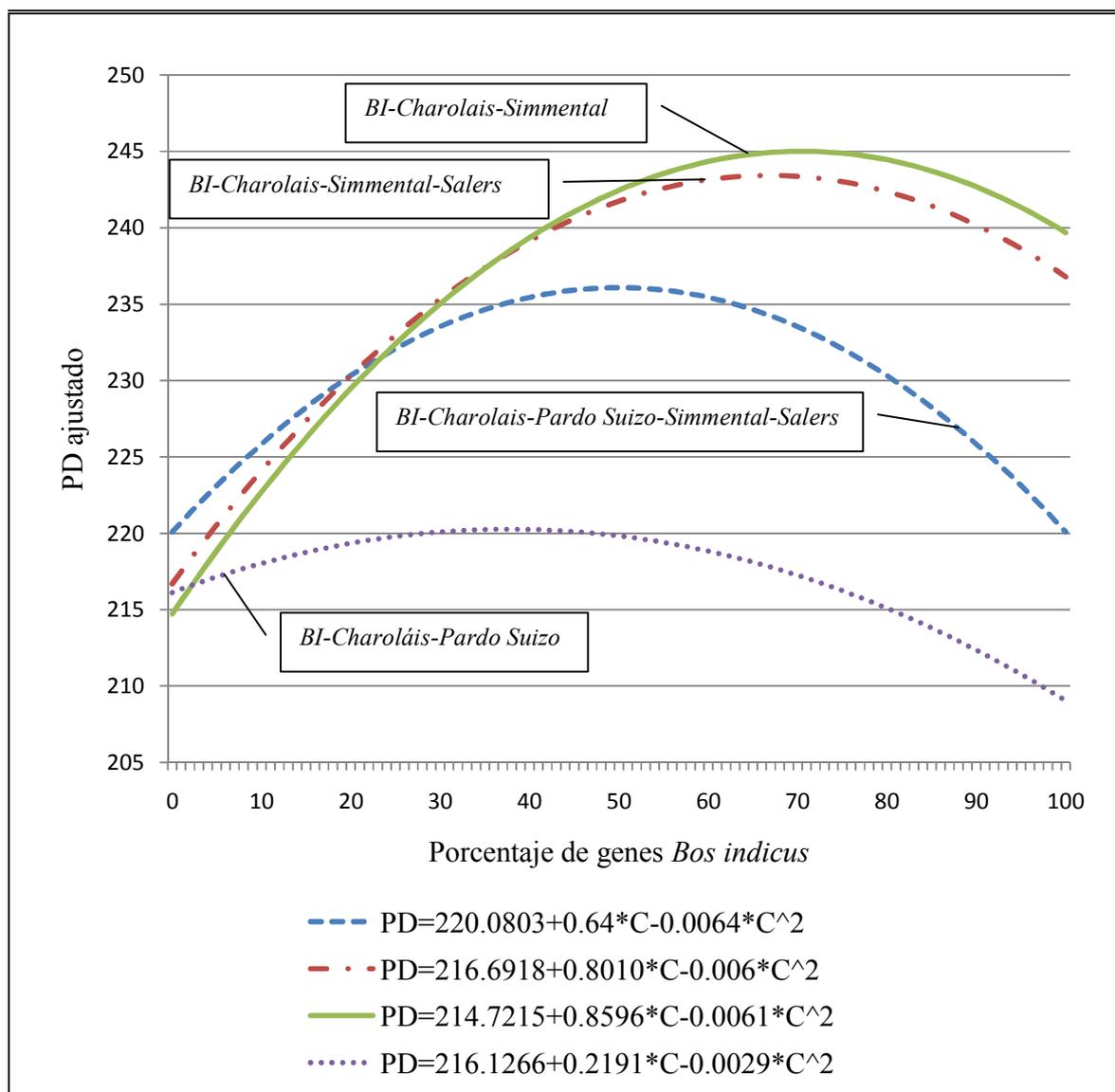


Figura 2. Respuesta a heterosis en la cruce de tres, cuatro y cinco razas; modelos cuadráticos para peso al destete ajustado a 270 días (PD).

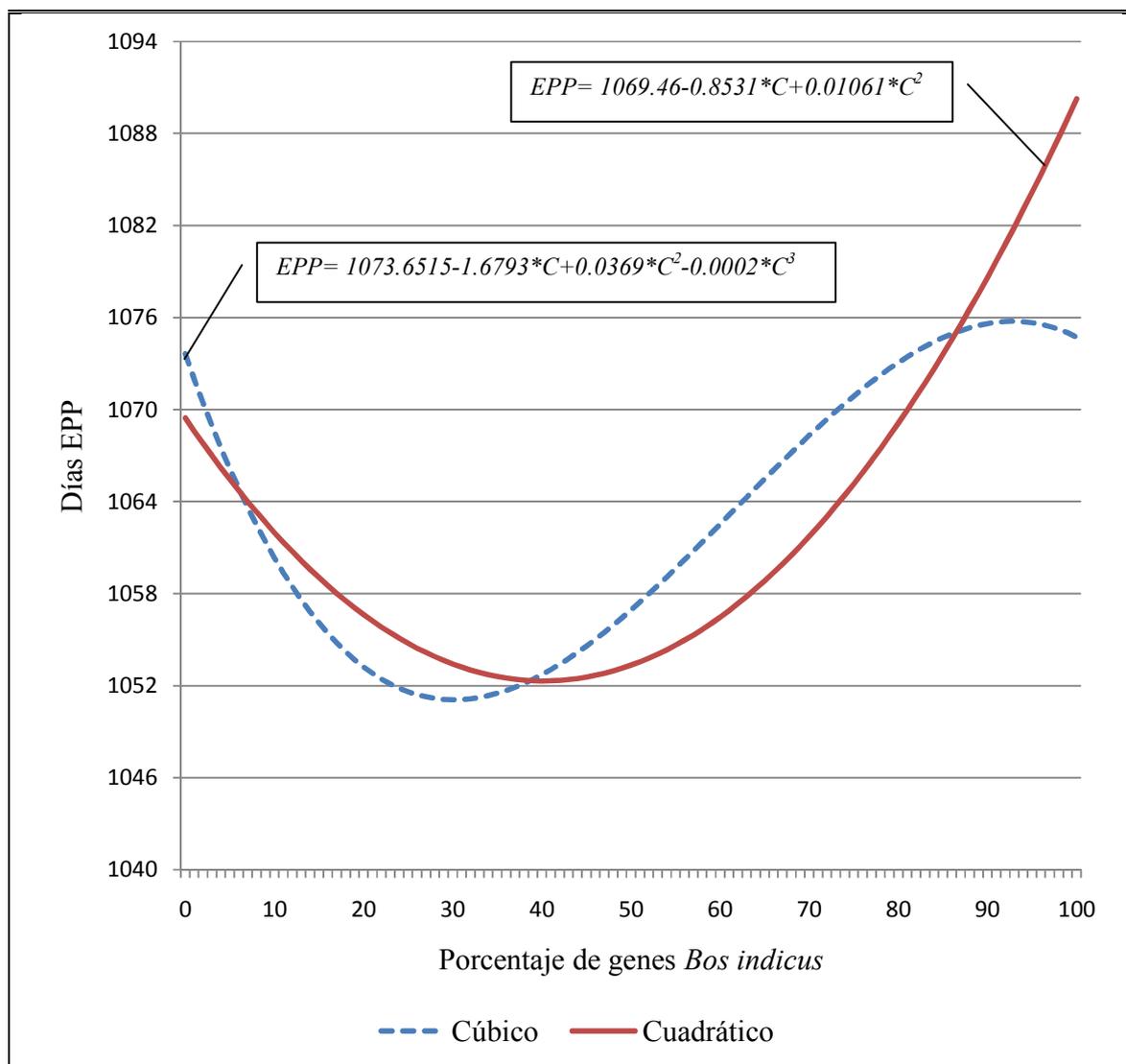


Figura 3. Respuesta a heterosis en la cruce de *Bos indicus* x *Bos taurus* para edad a primer parto (EPP).

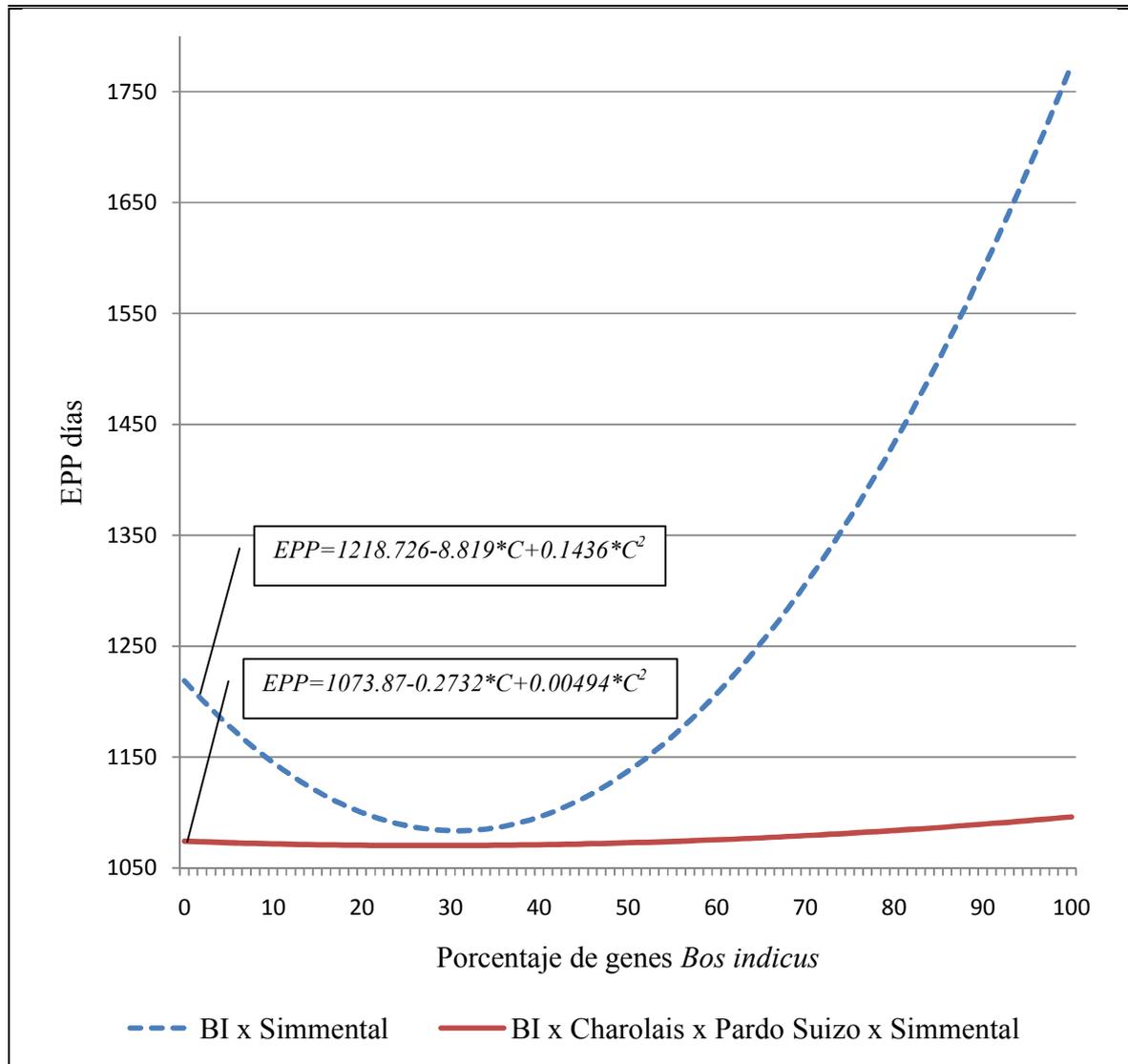


Figura 4. Respuesta a heterosis en la cruza de 2 y 4 razas; modelos cuadráticos para edad a primer parto (EPP).

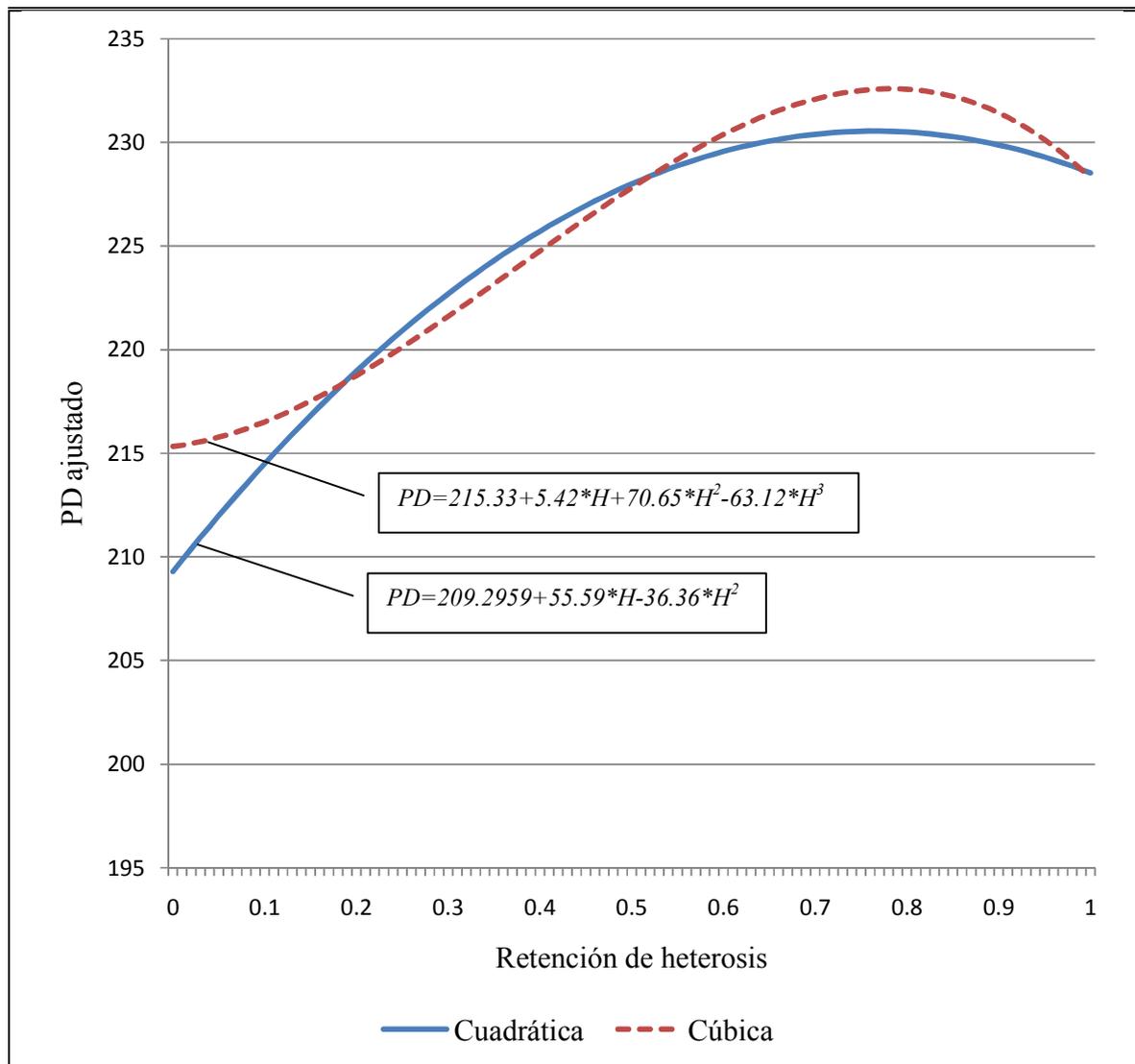


Figura 5. Retención de heterosis (RVH) para peso al destete ajustado a 270 días (PD).

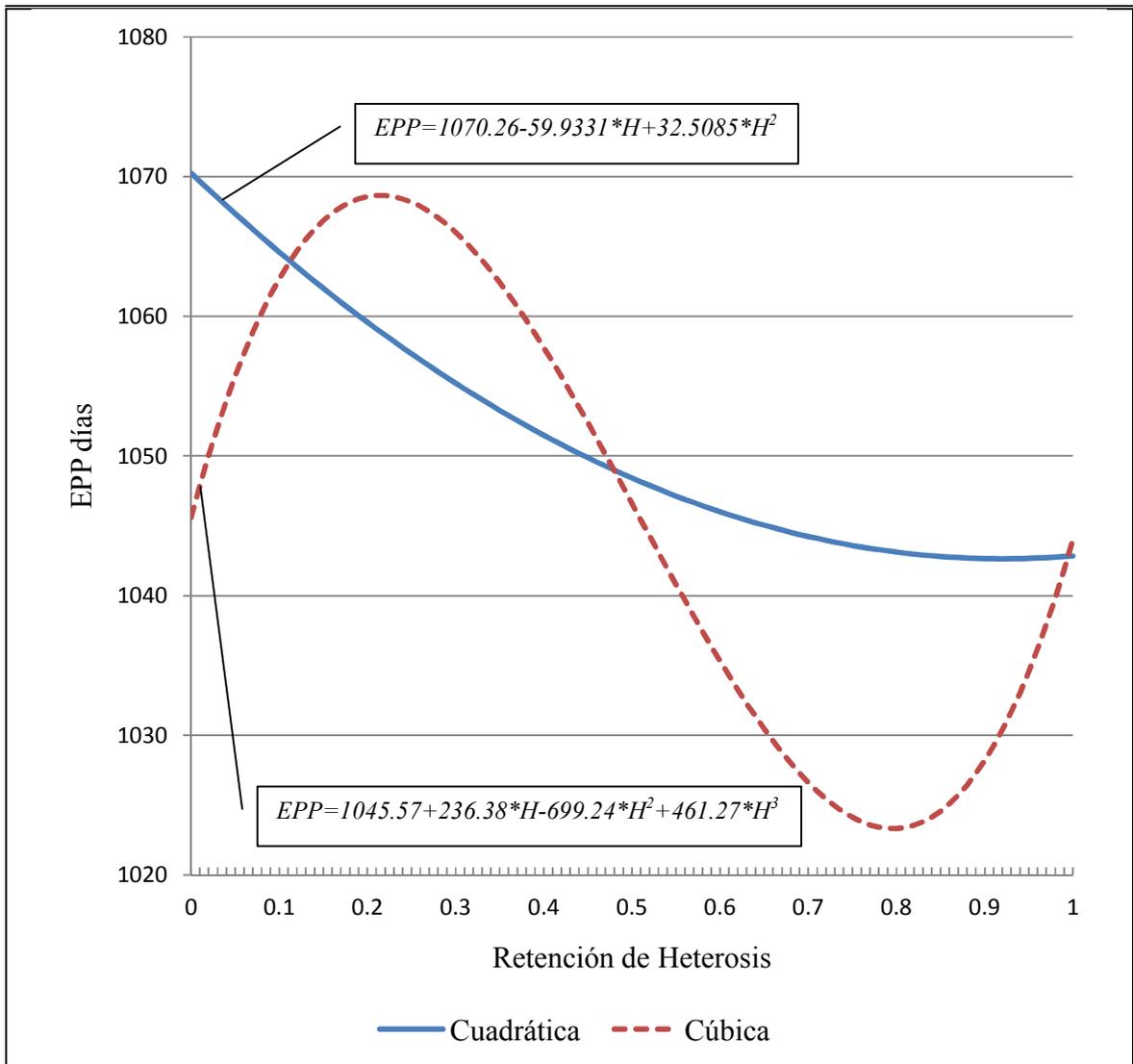


Figura 6. Retención de heterosis (RVH) para edad a primer parto (EPP).

Cuadro 1. Promedios generales para peso al destete ajustado a 270 días y edad al primer parto en vacas Cebú, Europeas y Cruzadas entre dos o más razas

Raza	PD		EPP	
	$\mu \pm s$	CV	$\mu \pm s$	CV
Cebú	209.85±20.69	9.85%	1109.55± 99.35	8.95%
Europeo	222.52± 4.73	2.12%	1100.48± 29.83	2.71%
Charolais	253.16±13.09	5.17%	1181.59± 74.51	6.30%
Holstein	228.79±18.51	8.09%	914.82±112.65	12.31%
Simmental	213.83± 6.38	2.98%	1123.61± 40.94	3.64%
Suizo Pardo	223.89± 9.25	4.13%	1049.47± 60.84	5.79%
Cruzados	225.52± 4.73	2.09%	1099.00± 9.01	0.82%

Cuadro 2. Análisis de regresión para la selección de los modelos ($P < 0.05$)

Razas para PD ajustado a 270 días	R^2	CP	ES
Cebú x Charolais	0.0505	40.51	6970.89
Cebú x Pardo Suizo	0.0300	41.45	7121.45
Cebú x Simmental	0.4613	21.69	3955.21
Cebú x Charolais x Pardo Suizo	0.5739	18.52	3753.85
Cebú x Simmental x Salers	0.5809	18.20	3692.08
Cebú x Charolais x Simmental	0.5017	21.83	4390.25
Cebú x Charolais x Simmental x Salers	0.5870	19.92	4547.78
Cebú x Charolais x Pardo Suizo x Simmental x Salers	0.9345	6	961.14
Razas para EPP	R^2	CP	ES
Cebú x Holstein	0.0873	1.29	37640
Cebú x Simmental	0.0909	1.13	37490
Cebú x Charolais x Holstein	0.0930	3.04	38319
Cebú x Simmental x Holstein	0.0938	3.01	38284
Cebú x Charolais x Pardo Suizo x Simmental	0.0940	5	39231
Cebú x Charolais x Pardo Suizo x Simmental x Holstein	0.0940	4.99	39231

R^2 : coeficiente de determinación, CP : estadístico de Mallows, ES : error estándar. Se identifican con negritas las cruzas que fueron graficadas y utilizadas en los resultados por ser significativos.

Cuadro 3. Coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo de peso al destete ajustado a 270 días (PD)

<i>Bos indicus</i> x	Lineal	P<	Cuadrática	P<	Cúbica	P<
<i>Bos taurus</i>	0.2338	0.0001	0.2380	0.0001	0.2384	0.0001
Charolais	0.2659	0.1471	0.3165	0.1310	0.3346	0.1708
Pardo Suizo	0.1666	0.1321	0.1675	0.2085	0.1694	0.2961
Simmental	0.1516	0.7079	0.1518	0.8151	0.1535	0.8880
Charolais-Pardo Suizo	0.1449	0.0027	0.1469	0.0051	0.1470	0.0096
Simmental-Salers	0.3025	0.0743	0.3090	0.1147	0.3529	0.0984
Charolais-Simmental	0.2972	0.0001	0.3016	0.0001	0.3026	0.0001
Charolais-Simmental-Salers	0.3184	0.0001	0.3225	0.0001	0.3229	0.0001
Charolais-Pardo Suizo-Simmental-Salers	0.2368	0.0001	0.2411	0.0001	0.2415	0.0001

Coeficiente de Determinación (R^2) de PD ajustado a 270 días, con su respectivo nivel de significancia (P). Se identifican con negritas las cruces que fueron graficadas y utilizadas en los resultados por ser significativos.

Cuadro 4. Coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo de edad a primer parto (EPP)

<i>Bos indicus</i> x	Lineal	P<	Cuadrática	P<	Cúbica	P<
<i>Bos taurus</i>	0.1835	0.0001	0.1843	0.0001	0.1845	0.0001
Simmental	0.4376	0.0328	0.4796	0.0334	0.5192	0.0342
Holstein	0.0999	0.8777	0.1083	0.9541	0.1083	0.9541
Simmental-Holstein	0.1918	0.1655	0.1932	0.2450	0.2129	0.2630
Charolais-Holstein	0.0753	0.5125	0.0756	0.6325	0.0803	0.7004
Charolais-Pardo						
Suizo-Simmental	0.1781	0.0001	0.1783	0.0001	0.1783	0.0001

Coeficiente de Determinación (R^2) de EPP, con su respectivo nivel de significancia (P). Se identifican con negritas las cruas que fueron graficadas y utilizadas en los resultados por ser significativos.

	BIx	b_1	P	b_2	P	b_3	P
C		PD					
Lineal	<i>BT</i>	0.2146	0.0144				
Cuadrático	<i>BT</i>	0.6629	0.0030	-0.0066	0.0291		
Cúbico	<i>BT</i>	0.9315	0.0304	-0.0158	0.2212	0.00008	0.4650
Lineal	Ch-Sim	0.3862	0.0111				
Cuadrático	Ch-Sim	0.8596	0.0443	-0.0061	0.2349		
Cúbico	Ch-Sim	0.4297	0.6186	0.0068	0.7667	-0.0001	0.5669
Lineal	Ch-PS	-0.0416	0.7999				
Cuadrático	Ch-PS	0.2191	0.6678	-0.0029	0.5897		
Cúbico	Ch-PS	0.0347	0.9789	0.0018	0.9537	-0.0003	0.8792
Lineal	Ch-Sim-Sal	0.3346	0.0193				
Cuadrático	Ch-Sim-Sal	0.8010	0.0504	-0.006	0.2231		
Cúbico	Ch-Sim-Sal	0.5270	0.5207	0.0022	0.9178	-0.0006	0.7003
Lineal	Ch-PS-Sim-Sal	0.1979	0.0313				
Cuadrático	Ch-PS-Sim-Sal	0.0313	0.0073	-0.0064	0.0445		
Cúbico	Ch-PS-Sim-Sal	0.8961	0.0561	-0.0149	0.2802	0.00006	0.5258
C		EPP					
Lineal	BT	-0.0734	0.8313				
Cuadrático	BT	-0.8531	0.3329	0.01061	0.3362		
Cúbico	BT	-1.6793	0.3517	0.0369	0.4719	-0.0002	0.5994
Lineal	Sim	-0.6249	0.7273				
Cuadrático	Sim	-8.819	0.1911	0.1436	0.2069		
Cúbico	Sim	-35.235	0.1179	1.3	0.1675	-0.0136	0.2141
Lineal	Ch-PS-Sim	0.0995	0.7811				
Cuadrático	Ch-PS-Sim	-0.2732	0.7685	0.00494	0.6634		
Cúbico	Ch-PS-Sim	-0.2324	0.9048	0.0036	0.9462	0.00001	0.9809
H		PD					
Lineal		9.695	0.0145				
Cuadrático		55.59	0.0076	-36.36	0.0247		
Cúbico		5.42	0.9371	70.65	0.6157	-63.12	0.4441
H		EPP					
Lineal		-21.377	0.1811				
Cuadrático		-59.933	0.4037	32.5085	0.5816		
Cúbico		236.38	0.2142	-699.24	0.1115	461.27	0.0929

Anexo 1. Coeficientes de regresión (b_1 , b_2 , b_3) en su forma lineal, cuadrática y cúbica para el porcentaje de genes cebú (C) así como para la heterosis retenida (H), para peso al destete ajustado a 270 días (PD) y edad a primer parto (EPP), con sus respectivos niveles de significancia (P). En negritas se muestran los modelos usados ($P < 0.05$). *BI*: *Bos indicus*, *BT*: *Bos taurus*, Ch: Charolais, Sim: Simmental, PS: Pardo Suizo, Sal: Salers.