



## Efectos genéticos aditivos y no aditivos para características reproductivas en dialelo Holstein-Suizo Pardo en clima subtropical húmedo



Luis Adrián García Bravo <sup>a</sup>

Vicente Eliezer Vega-Murillo <sup>a\*</sup>

José Alfredo Villagómez- Cortes <sup>a</sup>

Juan Prisciliano Zárate-Martínez <sup>b</sup>

Otto Raúl Leyva-Ovalle <sup>c</sup>

René Carlos Calderón Robles <sup>d</sup>

Ángel Ríos-Utrera <sup>a</sup>

Moisés Montaña Bermúdez <sup>e</sup>

Guillermo Martínez-Velázquez <sup>f</sup>

<sup>a</sup> Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 91710, Veracruz, Ver. México.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Posta, Veracruz, México.

<sup>c</sup> Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Veracruz, Ver. México.

<sup>d</sup> INIFAP, Sitio Experimental Las Margaritas, Puebla, México.

<sup>e</sup> INIFAP, CENID Fisiología y Mejoramiento Animal, Querétaro, México.

<sup>f</sup> INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla, México.

\*Autor de correspondencia: [vvega@uv.mx](mailto:vvega@uv.mx)

**Resumen:**

El cruzamiento permite aprovechar las diferencias genéticas aditivas entre razas, también permiten hacer uso de la heterosis y de la complementariedad. Por lo tanto, se necesita generar información de la eficacia de las cruas en comparación con las razas puras, bajo las condiciones de interés. El objetivo fue cuantificar el impacto de los efectos genéticos aditivos y no aditivo para días a primer estro (DPE), días a primer servicio (DPS), días abiertos (DA), servicios por concepción (SPC), intervalo entre partos (IP) y duración de la gestación (DG). Se utilizó la información productiva y genealógica de hembras provenientes de un dialelo entre Holstein (HO) y Suizo Pardo (SP), un total de 148 vacas de las razas HO (n=43), SP (n=64) y sus cruas recíprocas HO-SP (n=20) y SP-HO (n=21). Se utilizaron contrastes para estimar la heterosis individual y las diferencias entre los efectos genéticos directos y entre los efectos genéticos maternos con base en los modelos de Dickerson. Los resultados mostraron que la heterosis y las diferencias entre los efectos maternos no fueron significativos ( $P>0.05$ ) para ninguna de las características estudiadas. Las diferencias entre efectos genéticos directos solo fueron importantes ( $P<0.05$ ) para SPC y DG. En conclusión, la heterosis generada por el cruzamiento entre HO y SP no influyó sobre la eficiencia reproductiva de las hembras. Los efectos maternos no fueron diferentes entre HO y SP. Los efectos genéticos directos para SPC y DG favorecieron a la raza SP.

**Palabras clave:** Bovino, Cruzamiento dialélico, Efecto genético directo, Heterosis, Modelos estadísticos, Modelos lineales, Parámetros reproductivos, Características reproductivas.

Recibido: 27/05/2022

Aceptado: 06/03/2023

## Introducción

La selección de animales de razas puras permite mejorar características de importancia zootécnica, como la producción láctea en ganado bovino lechero<sup>(1,2)</sup>. Y precisamente la alta presión de la selección sobre este fenotipo, ha generado correlaciones genéticas antagónicas con la longevidad<sup>(3)</sup>, la salud de la ubre<sup>(4)</sup> y la fertilidad<sup>(5)</sup>. Generando deterioros<sup>(6,7,8)</sup> observables en un bajo rendimiento productivo general<sup>(9)</sup>. El establecer un sistema de cruzamiento entre razas, es una alternativa para solucionar esta problemática<sup>(10)</sup>.

El propósito del cruzamiento entre individuos genéticamente distantes es generar nuevas combinaciones de genes que permitan aprovechar las diferencias genéticas aditivas directas (desviación promedio ocasionadas por el efecto directo de los genes del individuo de raza

pura) y maternas (desviación promedio debido a los efectos de los genes de la madre a través del ambiente materno) entre razas, y principalmente hacer uso de efectos genéticos no aditivos debido a dominancia y epistasis, como la heterosis<sup>(10-14)</sup>, la cual permite que el promedio de la descendencia híbrida sea fenotípicamente superior al promedio de las razas puras parentales contemporáneas<sup>(15,16)</sup>. Los individuos de las cruzas podrán tener ventajas con respecto a sus progenitores si los rasgos de interés muestran heterosis positiva o útil<sup>(17)</sup>, que se refleje en mejores tasas reproductivas<sup>(18)</sup>.

Por otro lado, en las condiciones tropicales de México el principal interés es la producción de leche, por ese motivo realizan cruzamientos con ganado Suizo Pardo o Holstein<sup>(19)</sup>, pero no entre éstas. El cruzamiento de estas razas podría permitir conservar la habilidad láctea y mejorar los índices reproductivos generales. Por lo tanto, evaluar el comportamiento fenotípico de la progenie híbrida en función del entorno y de las condiciones productivas de interés, aportará los conocimientos necesarios a la hora de decidir las estrategias de apareamiento que se utilizarán para maximizar los estimadores de los parámetros reproductivos. El objetivo del presente estudio fue cuantificar los efectos genéticos aditivos y no aditivo sobre la eficiencia reproductiva de hembras Holstein, Suizo Pardo y sus cruzas recíprocas en un ambiente subtropical.

## **Material y métodos**

### **Condiciones geográficas**

El estudio se realizó en el sitio experimental “Las Margaritas” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Hueytamalco (latitud 19°, 20'N y longitud 97°, 20'O), en la sierra nororiente del estado de Puebla, México, a 450 m sobre el nivel del mar. El clima se clasifica como subtropical húmedo Af(c)<sup>(20)</sup> y la temperatura media anual es 20.8 °C, oscilando entre 15.3 (invierno) y 24.2 °C (verano), y la precipitación media anual es de 1,270 mm. La época de lluvia abundante se presenta de julio a octubre; llovizna con descenso de temperatura se presenta de noviembre a febrero<sup>(21)</sup>.

### **Características del hato**

Se utilizó la información de registros reproductivos y genealógicos de 148 vacas Holstein (HO; n=43) y Suizo Pardo (SP; n=64) y sus cruzas recíprocas HO-SP (n=20) y SP-HO (n=21), las cuales fueron producidas con 85 sementales y 121 madres a través de inseminación artificial y monta natural, y que nacieron entre 1997 y 2006 y parieron entre 1998 y 2014.

## **Animales y manejo reproductivo**

Se incluyeron novillas con peso igual o superior a 350 kg y que no presentaron anomalías en el tracto reproductivo posterior a la palpación transrectal. La detección de estro se realizó de 0600 a 0700 h y de 1700 a 1800 h, con la ayuda de un toro con un marcador de barbilla. Las hembras en estro fueron inseminadas con la técnica convencional 12 h después de la detección visual del estro. El diagnóstico de gestación se realizó mediante palpación transrectal 45 días posterior al último servicio.

## **Sanidad**

Las vacas se vacunaron contra clostridiasis, pasteurelosis (dos veces al año; marzo y septiembre) y rabia parálitica bovina (septiembre). También se realizaron pruebas para el control de brucela y tuberculosis cada 14 meses (hato libre). Para controlar los ectoparásitos (garrapatas y moscas) se realizó baño de inmersión cada 14 a 30 días, dependiendo del grado de infestación y el producto ectoparasiticida utilizado. Las vacas secas se desparasitaron un mes antes del parto, en caso de que el diagnóstico coparásitoscópico lo indicara.

## **Manejo de la alimentación**

Las vacas se mantuvieron en un sistema de pastoreo intensivo rotacional principalmente en pasto estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) y pangola (*Digitaria decumbens*). Los periodos de ocupación y descanso de los potreros fueron de 2 a 3 d y de 35 a 40 días respectivamente, dependiendo de la época del año, con una carga animal de 2.5 unidades animal por hectárea al año. Durante la época de sequía (noviembre a marzo), las vacas recibieron de 20 a 30 kg/animal/día de forraje fresco picado, principalmente caña Japonesa (*Saccharum sinense*) o de azúcar (*Saccharum officinarum*), adicionado con mezcla de melaza (97 %) y urea (3 %) a razón de dos a tres kilogramos por animal por día. Además, las vacas en lactancia recibieron durante el ordeño 3.5 kg/día de un alimento concentrado comercial (16 % de proteína cruda y 70 % de total de nutrientes digestibles), mientras que a las vacas secas se le suministró 2 kg/día del mismo tipo de alimento. Conjuntamente, se les proporcionó una mezcla de minerales y agua a libertad.

## **Manejo del ordeño**

Las vacas se separaron de sus crías al tercer día posparto, posteriormente se clasificaron y manejaron en tres lotes: 1) vacas del parto al quinto mes de lactancia, 2) vacas del quinto mes de lactancia al secado y 3) vacas secas. El ordeño de las vacas inició al cuarto día posterior al parto. Se ordeñaron dos veces al día (0600-0800 y 1400-1600 h) con una ordeñadora mecánica (Alfa Laval Agri, In-churn, Reino Unido). Las vacas se secaron a los siete meses

de gestación o cuando su producción de leche fue menor a 2 kg por día. Los promedios de duración de lactancia (días) y producción por lactancia (kg) fueron para SP:  $323 \pm 65$  y  $3190.55 \pm 88$ , HO:  $324 \pm 69$  y  $3685.65 \pm 1092$ , SP-HO:  $323 \pm 61$  y  $3887.29 \pm 1058$ , y HO-SP  $328 \pm 59$  y  $3910.44 \pm 1315$ , respectivamente.

### **Variables analizadas**

Las variables analizadas fueron: 1) días a primer estro (DPE), definida como los días que transcurrieron desde el último parto hasta el primer estro manifiesto; 2) días a primer servicio (DPS), definida como los días que transcurrieron del último parto al primer servicio de inseminación artificial o monta natural; 3) días abiertos (DA), definida como el periodo entre el último parto y la siguiente concepción; 4) servicios por concepción (SPC) definida como el número de inseminaciones o montas naturales necesarias para lograr la gestación; 5) intervalo entre partos (IP), definido como los días transcurridos entre dos partos consecutivos y 6) duración de la gestación (DG), definida como los días que transcurren entre la concepción y el parto<sup>(22)</sup>.

### **Análisis de los datos**

Se utilizó el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS<sup>(23)</sup>. El modelo incluyó los efectos fijos de año de parto (17 niveles: 1998 a 2014), época de parto (tres niveles: noviembre-febrero; marzo-junio y julio-octubre), número de parto (seis niveles: 1 a 6), el grupo racial de la vaca (cuatro niveles: HO, SP, HO-SP y SP-HO) y el efecto aleatorio del semental anidado dentro de raza del semental. Para las pruebas de los efectos fijos, se utilizó la aproximación de Satterthwaite para los grados de libertad del denominador.

### **Estimación de heterosis**

Se utilizaron contrastes para estimar la heterosis individual y las diferencias entre los efectos genéticos directos y entre los efectos genéticos maternos de Suizo Pardo y Holstein con base en los modelos siguientes<sup>(24,25)</sup>:

$$HO = \mu_n + g_{HO}^i + g_{HO}^M + g_{HO}^N$$

$$SP = \mu_n + g_{SP}^i + g_{SP}^M + g_{SP}^N$$

$$HOSP = \mu_n + \frac{1}{2}(g_{HO}^i + g_{SP}^i) + g_{SP}^M + g_{SP}^N + h_{HOSP}^i$$

$$SPHO = \mu_n + \frac{1}{2}(g_{SP}^i + g_{HO}^i) + g_{HO}^M + g_{HO}^N + h_{SPHO}^i$$

En donde HO y SP = Holstein y Suizo Pardo; HOSP y SPHO = cruzas recíprocas entre HO y SP;  $\mu_n$  = promedio de las razas puras involucradas en el cruzamiento dialélico;  $g_{HO}^i$  y  $g_{SP}^i$  = desviación debida al efecto directo promedio de los genes del individuo, provenientes de

la raza HO o SP;  $g_{HO}^M$  y  $g_{SP}^M$  = desviación debida a los efectos promedio, a través del ambiente materno, por genes de madres de raza HO o SP;  $g_{HO}^N$  y  $g_{SP}^N$  = desviación debida a los efectos promedio, a través del ambiente materno de las abuelas HO o SP, que puede afectar la habilidad materna de sus hijas;  $h_{SPHO}^i$  y  $h_{HOSP}^i$  = desviación debida al incremento de la heterocigosis promedio de las cruza F1 SP-HO y HO-SP. Para estimar las diferencias entre los efectos genéticos directos de HO y SP, se utilizó el contraste (HO + HOSP - SP - SPHO), mientras que con el contraste SPHO - HOSP se estimaron diferencias entre los efectos genéticos maternos, asumiendo que  $g_{HO}^N - g_{SP}^N$  fue igual a cero. La heterosis individual se calculó mediante el contraste  $[HOSP + SPHO - HO - SP] / 2$ .

## Resultados

En el Cuadro 1 se presentan los niveles de significancia para los efectos fijos considerados en los modelos para cada característica analizada.

**Cuadro 1:** Niveles de significancia estadística de los efectos fijos considerados en el modelo estadístico para analizar las características reproductivas

Efectos	DPE	DPS	DA	SPC	IP	DG
Grupo racial de la vaca	0.298	0.216	0.738	0.008	0.364	<0.0001
Año de parto	0.001	0.001	0.003	0.079	0.019	0.233
Época de parto	0.737	0.859	0.286	0.192	0.050	0.214
Número de parto	0.739	0.770	0.338	0.781	-	0.560

DPE= días a primer estro, DPS= días a primer servicio, DA= días abiertos, SPC= servicios por concepción, IP= intervalo entre partos, DG= duración de la gestación.

El efecto del grupo racial de la vaca fue significativo para SPC ( $P=0.008$ ) y DG ( $P=0.001$ ). En el caso de año de parto fue significativo para DPE ( $P=0.001$ ), DPS ( $P=0.001$ ), DA (0.003) e IP ( $P=0.019$ ). La época y el número de parto no fueron significativos ( $P>0.05$ ) para ninguna de las características estudiadas, pero, aun así, fueron incluidas en el modelo. Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para las características estudiadas se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2:** Medias de cuadrados mínimos y errores estándar para DPE, DPS, DA, SPC, IP y DG, de vacas HO, SP y sus cruzas recíprocas (HO-SP, SP-HO)

Grupo racial de la vaca	DPE	DPS	DA	SPC	IP	DG
HOSP	97.81±7.18	97.65±7.03	118.78±7.39	1.70±0.12 <sup>ab</sup>	405.83±6.67	281.22±1.00 <sup>ab</sup>
SPHO	94.25±8.15	94.71±7.84	116.05±7.80	1.61±0.11 <sup>a</sup>	406.55±7.11	283.65±1.08 <sup>a</sup>
HO	88.79±6.95	89.19±6.84	124.47±7.41	1.88±0.12 <sup>b</sup>	414.52±6.50	279.84±0.97 <sup>b</sup>
SP	103.31±6.35	104.98±6.23	123.40±6.81	1.45±0.11 <sup>a</sup>	417.74±5.82	287.29±0.88 <sup>c</sup>

DPE= días a primer estro, DPS= días a primer servicio, DA= días abiertos, SPC= servicios por concepción, IP= intervalo entre partos, DG= duración de la gestación.

<sup>a,b,c</sup> Medias con diferentes literales dentro de columna son diferentes ( $P<0.05$ ).

No se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) entre las razas puras y sus cruzas recíprocas en DPE, DPS, DA e IP. En el caso de los SPC, las vacas HO tuvieron significativamente ( $P<0.05$ ) mayor número de SPC ( $1.88 \pm 0.12$ ) que las SP-HO ( $1.61 \pm 0.11$ ) y las SP ( $1.45 \pm 0.11$ ), mientras que la HO-SP tuvieron un comportamiento intermedio ( $1.70 \pm 0.12$ ) a las razas progenitoras ( $P>0.05$ ). En cuanto a la DG, las vacas SP tuvieron gestaciones significativamente ( $P<0.05$ ) más largas ( $283.65 \pm 1.08$ ) que las HO, SP-HO y HO-SP, y las cruza HO-SP tuvieron un comportamiento intermedio con respecto a las razas HO y SPHO ( $P>0.05$ ). Los estimadores de heterosis, diferencia entre efectos genéticos directos y diferencia entre efectos genéticos maternos para las características bajo estudio se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3:** Estimadores de diferencias entre efectos genéticos directos, diferencia entre efectos genéticos maternos y heterosis para características reproductivas

Contrastes	DPE	DPS	DA	SPC	IP	DG
Directos	-10.95±12.80	-12.86±12.45	3.79±11.54	0.52±0.17**	-3.94±11.47	-10.24±1.68**
Maternos	3.56±10.30	2.94±9.96	2.72±9.05	0.09±0.13	-0.72±8.93	-2.43±1.34
Heterosis	-0.02±6.75	-0.90±6.55	-6.52±6.00	-0.01±0.09	-9.94±5.75	-0.95±0.87

DPE= días a primer estro, DPS= días a primer servicio, DA= días abiertos, SPC= servicios por concepción, IP= intervalo entre partos, DG= duración de la gestación.

\*( $P<0.05$ ).

Los efectos genéticos directos, fueron importantes ( $P<0.05$ ) para servicios por concepción y duración de la gestación. La heterosis y la diferencia entre efectos genéticos maternos no fueron significativos ( $P>0.05$ ) para ninguna de las características estudiadas.

## Discusión

El efecto del grupo racial de la vaca solo fue significativo para SPC y DG ( $P < 0.01$ ). Una posible explicación del efecto que tiene el grupo racial de la vaca en SPC y DG se puede atribuir al hecho de que las vacas altamente productoras de leche suelen tener una baja tasa de concepción<sup>(26)</sup>. La disminución de la fertilidad en el ganado lechero puede tener una causa patológica y estar relacionada con una nutrición deficiente<sup>(27)</sup>. La falta de una adecuada nutrición durante los períodos preparto y posparto temprano puede ocasionar una reducción en los niveles de glucosa, insulina, factor de crecimiento insulínico tipo 1 y una disminución en la frecuencia de pulsos de LH. Al mismo tiempo, pueden aumentar los niveles de beta-hidroxibutirato, ácidos grasos no esterificados y triacilglicerol<sup>(28,29)</sup>. Los trastornos metabólicos predisponen a las vacas a trastornos ginecológicos, reduciendo así la eficiencia reproductiva<sup>(28,29)</sup>. Por otra parte, se ha comprobado que algunos metabolitos presentes en el plasma se encuentran también en el microambiente folicular ovárico, y que los perfiles únicos de estos metabolitos pueden afectar el rendimiento reproductivo del ganado lechero en diferentes etapas fisiológicas, como novillonas, primíparas y múltiparas<sup>(30)</sup>. También podría atribuirse a diferencias en el componente genético resultante de la adaptabilidad de las razas puras a condiciones tropicales<sup>(31)</sup>. El origen del fenómeno no es claro, y se describe como multifactorial.

El año de parto fue significativo para DPE, DPS, DA e IP ( $P < 0.01$ ). Estos resultados pueden atribuirse a las fluctuaciones en las condiciones climáticas que influyen en la fisiología del animal a través de ambientes adversos o favorables<sup>(32,33)</sup>; la época y el número de parto no fueron significativos ( $P > 0.05$ ) para ninguna de las características estudiadas. Estos resultados concuerdan parcialmente con los obtenidos por Hundie *et al*<sup>(34)</sup> y Niraj *et al*<sup>(35)</sup> quienes tampoco encontraron diferencias entre épocas o el número de partos<sup>(36)</sup>. Contrario a esto, en una evaluación de diferentes razas y cruza de ganado bovino (Brahman, Indobrasil, SP, SP x Cebú) en el sureste mexicano, se encontró que durante el primero y segundo parto existen periodos (IP) más prolongados debido al estrés ocasionado por la lactancia, que erróneamente se atribuyen al manejo posparto. Es posible que este estrés ocasionado por la lactancia no sea tan intolerable en las razas lecheras (HO y SP) utilizadas en el presente estudio<sup>(37)</sup>.

En cuanto a las medias de cuadrados mínimos, no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre las razas puras y sus cruza recíprocas en DPE, DPS, DA e IP. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Blöttner *et al*<sup>(2)</sup>, quienes no encontraron diferencia en DA entre HO y SP-HO. Contrario a esto, cuando se evaluaron algunas características reproductivas de vacas lecheras en un sistema de cruzamiento rotativo utilizando tres razas (HO, Jersey y Montbeliarde) en el altiplano de México, las vacas HO tuvieron mayores DA y un IP más prolongados que cualquiera de las cruza evaluadas<sup>(38)</sup>. En otro estudio, las vacas SP, HO-SP y SP-HO tuvieron significativamente menos DA<sup>(39,40)</sup> y la cruza SP-HO un IP más corto que

las vacas HO<sup>(39,40,41)</sup>. De forma similar, en un estudio realizado con bases de datos de la Red Lechera Canadiense (CDN), evaluaron 128,376 registros reproductivos de 55,648 vacas HO puras y cruzadas con toros SP, Jersey, Rojo Noruego y Rojo Sueco, encontraron que las diferencias en el número de servicios y en las tasas de no retorno favorecen significativamente a las crías cruzadas frente a las HO puras, por lo tanto, los animales híbridos evitarán los costos asociados a un mayor número de servicios por concepción, reducirán los intervalos entre partos y entre lactancias, lo cual resultará en una mayor producción general<sup>(40)</sup>. Aunado a lo anterior, los resultados del presente estudio muestran que las vacas HO requieren mayor número de SPC ( $P<0.05$ ) que las SP-HO y las SP, mientras que las HO-SP tuvieron un comportamiento intermedio. Estos resultados concuerdan parcialmente con otro estudio donde las vacas SP y SP-HO tuvieron menor SPC (2.92 y 2.96; respectivamente) que vacas HO y HO-SP (3.54 y 3.37; respectivamente)<sup>(40)</sup>. Inclusive algunos autores indican que la raza SP y su F1 con Holstein tiene mejor rendimiento reproductivo y mayor adaptabilidad a condiciones tropicales<sup>(42)</sup>. Una de las posibles causas de la ineficiencia reproductiva de la raza Holstein se remonta a su selección histórica enfocada a su alta producción láctea<sup>(43,44)</sup>. El método base para su mejoramiento genético es la selección de individuos que sobrepasen el mérito productivo para dicha característica<sup>(45)</sup>, pero el uso incorrecto y generalizado de tecnologías de reproducción asistida, resulta en cientos o miles de crías de un solo padre<sup>(46)</sup>. La fuerte presión en la selección y la mala orientación del uso de las herramientas reproductivas han ocasionado problemas de consanguinidad, que se reflejan negativamente sobre las características reproductivas<sup>(46,47)</sup>. La endogamia generada al aparear animales genéticamente relacionados incrementa las frecuencias de genes en estado homocigóticos<sup>(48)</sup> y se restringe la heterocigosidad<sup>(47,49)</sup>, ocasionando un incremento de la frecuencia de los alelos recesivos nocivos que se manifiestan como una menor variabilidad fenotípica<sup>(50,51)</sup>.

En cuanto a otras características analizadas, Blöttner *et al*<sup>(2)</sup> no encontraron diferencias en el número de SPC entre SP-HO y HO en tres lactaciones consecutivas analizadas de forma independiente, contrariamente, en el presente estudio el análisis se realizó considerando seis lactancias de forma conjunta, posiblemente es la explicación del porqué se encontró diferencia estadística entre los grupos raciales. Se debe considerar que el número de SPC puede estar influido por el estado de salud reproductiva de las vacas, el manejo, el tipo de alimentación y la calidad seminal tanto de las pajillas como del eyaculado durante la monta natural<sup>(52)</sup>, sin embargo, dichos factores no fueron agregados al modelo, por falta de disposición y porque todos los animales estuvieron bajo las mismas condiciones climáticas y de manejo. Las vacas SP-HO tuvieron gestaciones significativamente ( $P<0.05$ ) más largas (283.65) que las HO (279.84) y SP (287.29); las HO-SP tuvieron un comportamiento intermedio (281.22). Este resultado concuerda con lo obtenido por Blöttner *et al*<sup>(2)</sup>, quienes reportaron una gestación más prolongada en hembras SP-HO (282 d) que en Holstein puras (280 d). Sin embargo, un factor importante que influye en la DG es el sexo de las crías<sup>(53)</sup>,

desafortunadamente no se contó con esos datos para poder agregarlos dentro del modelo estadístico.

La heterosis y la diferencia entre los efectos genéticos maternos no fueron significativos ( $P>0.05$ ) para ninguna de las características estudiadas. Contrariamente, los resultados en el altiplano mexicano donde evaluaron DA, IP y SPC en un cruzamiento rotacional con Holstein, Jersey, Montbeliarde y Sueco Rojo, encontraron que las cruzas necesitaron menor número de SPC y manifestaron DA e IP más cortos que las HO, debido al efecto de heterosis<sup>(38)</sup>. Lo que concuerda con resultados obtenidos en condiciones subtropicales de Egipto<sup>(42)</sup>. Sin embargo, ambos estudios no mencionan la heterosis estimada en las características analizadas. Por ejemplo, en cruzas SP-HO se reporta 7 % de heterosis para DA (en condiciones mediterráneas de Estados Unidos)<sup>(54)</sup>, y 1.3, -1.0 y -8.4 % de heterosis para IP, DA y SPC, respectivamente<sup>(40)</sup>. Por otro lado, en la región sur de Brasil evaluaron las cruzas de ganado Simmental (SM) con Holstein (F1,  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  SM y  $\frac{3}{4}$  SM x  $\frac{1}{4}$  Holstein) y obtuvieron IP, DA y DPS más cortos en las vacas F1 y  $\frac{3}{4}$  SM x  $\frac{1}{4}$  Holstein<sup>(55)</sup>. Los autores mencionan que al cruzar HO con SM se disminuye la pérdida de peso corporal y se garantiza un mejor equilibrio energético posparto que beneficia la expresión de las características reproductivas<sup>(55,56)</sup>. Este efecto es el resultado de la complementariedad entre razas, es decir, combinar la habilidad láctea de la HO con la habilidad reproductiva del ganado SM<sup>(57)</sup>, a pesar de que ambas razas son *Bos taurus*. Las razas son complementarias entre sí cuando destacan en diferentes características y la cría híbrida manifiesta un rendimiento deseable para un mayor número de fenotipos que las razas puras<sup>(57)</sup>. La cría híbrida manifiesta comportamiento fenotípico superior si los progenitores aportan genes con efecto dominante<sup>(18)</sup>, las nuevas combinaciones de alelos distintos en cada locus (heterocigótico)<sup>(13)</sup> darán lugar a animales superiores<sup>(58)</sup>. Sin embargo, para que esto ocurra es necesario utilizar razas genéticamente divergentes<sup>(59,60)</sup>. Entonces, la falta de significancia ( $P>0.05$ ) de la heterosis estimada en el cruzamiento de las razas incluidas en el dialelo, sugiere escasa divergencia genética y similares frecuencias génicas entre HO y SP para las características evaluadas, lo que se traduce en una escasa o nula manifestación de heterosis<sup>(11)</sup>; en este caso, algunos autores recomiendan aumentar el número de razas involucradas en los cruzamientos a fin de incrementar la heterocigosidad<sup>(13,61)</sup>. Por otro lado, las diferencias entre efectos genéticos directos fueron importantes ( $P<0.05$ ) para SPC (0.52; ejerciendo un mayor efecto la raza HO) y DG (-10.24; predominando el efecto de la raza SP).

## Conclusiones e implicaciones

La heterosis generada por el cruzamiento entre HO y SP no influyó sobre la eficiencia reproductiva de las hembras. La heterosis estimada sugiere poca divergencia genética entre las razas para las características evaluadas. Los efectos maternos no fueron diferentes entre Holstein y Suizo Pardo. Los efectos genéticos directos favorecieron a la raza SP para SPC y

DG. Se recomienda realizar cruzas con razas genéticamente distantes para maximizar el aprovechamiento del vigor híbrido, en dependencia del objetivo de producción y siempre considerando un equilibrio entre características productivas y reproductivas.

### **Agradecimientos**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca proporcionada al autor, con número de apoyo 781818.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

### **Literatura citada:**

1. Harris BL, Kolver ES. Review of holsteinization on intensive pastoral dairy farming in NZ. *J Dairy Sci* 2001;84(E.Suppl.):E56–E61. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70197-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70197-X).
2. Blöttner S, Heins BJ, Wensch-Dorendorf M, Hansen LB, Swalve HH. Brown Swiss × Holstein crossbreds compared with pure Holsteins for calving traits, body weight, backfat thickness, fertility, and body measurements. *J Dairy Sci* 2011;94(2):1058–1068. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3305>.
3. Hare E, Norman HD, Wright JR. Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. *J Dairy Sci* 2006;89(9):3713–3720.
4. Seegers H, Fourichon C, Beaudeau F. Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet Res* 2003;34(5):475–491. [doi:10.1051/vetres:2003027](https://doi.org/10.1051/vetres:2003027).
5. Windig JJ, Calus MPL, Veerkamp RF. Influence of herd environment on health and fertility and their relationship with milk production. *J Dairy Sci* 2005;88(1):335–347. [doi: 10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72693-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72693-X).
6. Rauw WM, Kanis E, Noordhuizen EN, Grommers FJ. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals. *Livest Prod Sci* 1998;56(1):13–33. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X).
7. Mark T. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2004;87(8):2641–2652. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73390-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73390-1).

8. Miglior F, Muir BL, Van Doormaal BJ. Selection indices in Holstein cattle of various countries. *J Dairy Sci* 2005;88(3):1255–1263. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72792-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72792-2).
9. Pryce JE, Royal MD, Garnsworthy PC, Mao IL. Fertility in the high-producing dairy cow. *Livest Prod Sci* 2004;86(1-2):125–135. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00145-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00145-3).
10. Sørensen MK, Norberg E, Pedersen J, Christensen LG. Crossbreeding in dairy cattle: A Danish Perspective. *J Dairy Sci* 2008;91(11):4116–4128. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1273>.
11. Willham RL. Genetic consequences of crossbreeding. *J Anim Sci* 1970;30(5):690–693. <https://doi.org/10.2527/jas1970.305690x>.
12. Swan AA, Kinghorn BP. Evaluation and exploitation of crossbreeding in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1992;(75):624–639. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77800-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77800-X).
13. Wakchaure R, Ganguly S, Praveen K, Sharma S, Kumar A, Mahajan T, Qadri K. Importance of heterosis in animals: A Review. In: *Int J Adv Engineering Technol Innovative Sci* 2015;1(1):1-5. ISSN:2455-1651.
14. Mingroni MA. Resolving the IQ paradox: heterosis as a cause of the Flynn effect and other trends. *Psychol Rev* 2007;114(3):806–829. doi: 10.1037/0033-295X.114.3.806.
15. Notter DR, Scherf B, Hoffmann I. Breeding of animals. In: SA Levin, editor. *Encyclopedia of biodiversity*. 2nd ed. New York, USA: Elsevier; 2013:636–649.
16. Scott P. Crossbreeding beef cattle. *Extension Animal Scientist, Virginia Tech* 2009;400-805.
17. Vandana Y, Narendra PS, Anjali K, Rahul S, Aamrapali B, Sourabh S. Effects of crossbreeding in livestock. *The Pharma Innovat J* 2018;7(6):672-676.
18. Getahun D, Alemneh T, Akeberegn D, Getabalew M, Zewdie D. Importance of hybrid vigor or heterosis for animal breeding. *Biochem Biotechnol Res* 2015;7(1):1-4.
19. Ríos-Utrera Á, Zárate-Martínez JP, Vega-Murillo VE, Enríquez-Quiroz JF, Montero-Lagunes M, Barradas-Piña FT, Valdovinos-Terán ME. Effect of the percentage of *Bos taurus* inheritance on the fertility of Holstein×Zebu and Brown Swiss×Zebu cows in the Mexican tropics. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2022;35(2):68–81. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v35n2a05>.
20. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1998:59-75.

21. Sistema Institucional de Monitoreo Agroclimático. Datos climatológicos de la Sierra Nororiente del estado de Puebla. Estación Meteorológica “Las Margaritas”. INIFAP 2007.
22. Hafez ESE, Hafez B. Reproducción e inseminación artificial de los animales domésticos. 7ª. ed. Distrito Federal, México: McGraw-Hill Interamericana; 2002.
23. SAS. SAS/STAT® (versión 9.3) User’s guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
24. Dickerson GE. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Anim Breed Abstr* 1969;37: 191-202.
25. Dickerson GE. Inbreeding and heterosis in animals. In: *Proc Anim Breed Genetics Symp in honor of Dr. J. L. Lush*. Am Soc Anim Sci, Am Dairy Sci Assoc. Champaign, IL.1973.
26. Butler WR. Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1998;81(9):2533- 2539. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)70146-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)70146-8).
27. Lucy MC. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *J Dairy Sci* 2001;84(6):1277–1293. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70158-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70158-0).
28. Roche JF. The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Anim Reprod Sci* 2006;96(3–4):282–296. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.08.007>.
29. Miqueo E, Chiarle A, Giuliadori MJ, Relling AE. Association between prepartum metabolic status and resumption of postpartum ovulation in dairy cows. *Domest Anim Endocrinol* 2019;(69):62–67. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.04.005>.
30. Schuermann Y, Welsford GE, Nitschmann E, Wykes L, Duggavathi R. Association between pre-breeding metabolic profiles and reproductive performance in heifers and lactating dairy cows. *Theriogenology* 2019;(131)79–88. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.03.018>.
31. Bejarano D, Pedraza A, Rocha JFM, Martínez R. Variabilidad genética en subpoblaciones comerciales de la raza criolla colombiana Romosinuano. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecu* 2012;13(1):97–107. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol13\\_num1\\_art:246](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:246).
32. Haile-Mariam M, Kassa-Mersha H. Genetic and environmental effects on age at first calving and calving interval of naturally bred Boran (zebu) cows in Ethiopia. *Anim Sci J* 1954;58(3):329-334. doi:10.1017/S000335610000725X.

33. Haile-Mariam M, Carrick MJ, Goddard ME. Genotype by environment interaction for fertility, survival, and milk production traits in Australian dairy cattle. *J Dairy Sci* 2008; 91(12):4840-4853. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1084>.
34. Hundie D, Beyene F, Duguma G. Early Growth and reproductive performances of Horro cattle and their F1 Jersey crosses in and around Horro-Guduru. *Sci Technol Arts Res J* 2013;2(3):134-141. <https://doi.org/10.4314/star.v2i3.98752>.
35. Niraj K, Alemayehu E, Berihu G, Endale BG. Reproductive performance of indigenous and HF crossbred dairy cows in Gondar, Ethiopia. *J Agric Vet Sci* 2014;7(1):56-61. <https://doi.org/10.9790/2380-07155661>.
36. Assemu T. Estimation of genetic and no genetic parameters for growth and reproductive performance traits of Fogera cattle breed [Thesis for MSc]. Bahir Dar, Ethiopia: Bahir Dar University; 2015.
37. Magaña JG, Segura-Correa JC. Estimates of breed and heterosis effects for some reproductive traits of Brown Swiss and Zebu-related breeds in South-eastern Mexico. *Livest Res Rural Dev* 2001;13(49). <http://www.lrrd.org/lrrd13/5/maga135.htm>.
38. Lammoglia VMA, Ávila GJ, Alarcón ZMA, Cabrera NA, Gutiérrez RA, Daniel RI. Productive and reproductive performance of dairy cows in their first crossbreeding rotational program in the Mexican Plateau. *Vet Méx* 2013;44(1):17-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42327031002>.
39. Schaeffer LR, Burnside EB, Glover P, Fatehi J. Crossbreeding results in Canadian dairy cattle for production, reproduction and conformation. *Open Agric J* 2011;5(1):63-72. <https://doi.org/10.2174/1874331501105010063>.
40. Abdalla H, El-Tarabany MS. Reproductive performance of Holstein, Brown Swiss and their crosses under subtropical environmental conditions with brief reference to milk yield. *Glob Vet* 2014;13(5):836-843. DOI: 10.5829/idosi.gv.2014.13.05.86193.
41. Heins BJ, Hansen LB, Seykora AJ, Johnson DG, Linn JG, Romano JE, Hazel AR. Crossbreds of Jersey × Holstein compared with pure Holsteins for production, fertility, and body and udder measurements during first lactation. *J Dairy Sci* 2008;91(3):1270–1278. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0564>.
42. El-Tarabany MS, Nasr MAF. Reproductive performance of Brown Swiss, Holstein and their crosses under subtropical environmental conditions. *Theriogenology* 2015;84(4): 559–565. doi:10.1016/j.theriogenology.2015.04.012.

43. García-Ruiz A, Cole JB, VanRaden PM, Wiggans GR, Ruiz-López FJ, Van Tassell CP. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proc Natl Acad Sci* 2016;113:E3995–E4004. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519061113>.
44. Hagan BA, Moro-Mendez J, Cue RI. Realized genetic selection differentials in Canadian Holstein dairy herds. *J Dairy Sci* 2020;103:1651–1666. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16890>.
45. Mrode RA, Thompson R. Linear models for the prediction of animal breeding values. Malta, Gutenberg Press; 2012.
46. Moore SG, Hasler JF. A 100-Year Review: Reproductive technologies in dairy science. *J Dairy Sci* 2017;100(12):10314–10331. doi: 10.3168/jds.2017-13138.
47. Parland S, Kearney JF, Rath M, Berry DP. Inbreeding effects on milk production, calving performance, fertility, and conformation in Irish Holstein-Friesians. *J Dairy Sci* 2007; 90(9):4411–4419. doi: 10.3168/jds.2007-0227.
48. Howard JT, Pryce JE, Baes C, Maltecca C. Invited review: Inbreeding in the genomics era: Inbreeding, inbreeding depression, and management of genomic variability. *J Dairy Sci* 2017;100(8):6009–6024. doi: 10.3168/jds.2017-12787.
49. Weigel KA, Lin SW. Use of computerized mate selection programs to control inbreeding of Holstein and Jersey cattle in the next generation. *J Dairy Sci* 2000;83(4):822-828. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74945-9.
50. Macedo AA, Bittar JFF, Bassi PB, Ronda JB, Bittar ER, Panetto JCC, *et al.* Influence of endogamy and mitochondrial DNA on immunological parameters in cattle. *BMC Vet Res* 2014;10:79. doi:10.1186/1746-6148-10-79.
51. Doekes HP, Veerkamp RF, Bijma P, De Jong G, Hiemstra SJ, Windig JJ. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. *Genet Sel Evol* 2019;51(1):54. doi:10.1186/s12711-019-0497-z.
52. Tewodros B. Assessment of productive and reproductive performance of indigenous and crossbred cattle under smallholder management system in north Gondar, Amhara region. [Thesis for MSc]. Mekele, Ethiopia. Mekele University; 2008.
53. González TM, Ossa SG, Pérez GJ. Duración de la gestación en el ganado bovino criollo costeño con cuernos. *Rev Colombiana Cienc Anim* 2016;8(2):224–227. DOI:10.24188/recia.v8.n2.2016.191.

54. Dechow CD, Rogers GW, Cooper JB, Phelps MI, Mosholder AL. Milk, fat, protein, and somatic cell score and days open among Holstein, Brown Swiss and their crosses. *J Dairy Sci* 2007;90(7):3542–3549. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-889>.
55. Knob DA, Scholz AM, Alessio DRM, Mendes BPB, Perazzoli L, Kappes R, Neto AT. Reproductive and productive performance, udder health, and conformation traits of purebred Holstein, F1, and R1 crossbred Holstein × Simmental cows. *Trop Anim Health Prod* 2020;52(4):1639–1647. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02174-9>.
56. Mlynek K, Glowinska B, Salomonczyk E, Tkaczuk J, Stys W, 2018. The effect of daily milk production on the milk composition and energy management indicators in Holstein–Friesian and Simmental cows. *Turkish J Veter Anim Sci* 2018;42(4):223–229. DOI:10.3906/vet-1711-31.
57. Piccand V, Cutullic E, Meier S, Schori F, Kunz PL, Roche JR, Thomet P. Production and reproduction of Fleckvieh, Brown Swiss, and 2 strains of Holstein-Friesian cows in a pasture-based, seasonal-calving dairy system. *J Dairy Sci* 2013;96(8):5352–63. doi: 10.3168/jds.2012-6444.
58. Li L, Lu K, Chen Z, Mu T, Hu Z, Li X. Dominance, over dominance and epistasis condition the heterosis in two heterotic rice hybrids. *Genetics* 2008;180(3):1725-1742. doi: 10.1534/genetics.108.091942.
59. Cassell B. Mechanisms of inbreeding depression and heterosis for profitable dairying. Virginia Polytechnic Institute and State University 2017; Blacksburg: 1-5.
60. Jönsson R. Estimation of heterosis and performance of crossbred Swedish dairy cows [Master’s Thesis] Uppsala, Sweden: University of Agricultural Science; 2015.
61. Clasen JB, Norberg E, Madsen P, Pedersen J, Kargo M. Estimation of genetic parameters and heterosis for longevity in crossbred Danish dairy cattle. *J Dairy Sci* 2017;100(8):6337-6342. doi: 10.3168/jds.2017-12627.