

Genética vegetal y biodiversidad

Artículo de investigación científica y tecnológica

Factores genéticos y ambientales que afectan la permanencia productiva en ganado Holstein, Suizo Pardo y sus cruzas recíprocas

Genetic and Environmental Factors that Affect Permanence in Holstein, Brown Swiss Cattle and their Reciprocal Crosses

 Anel Ledesma Rodríguez¹  René Carlos Calderón Robles²  Ángel Ríos-Utrera¹
 Guillermo Martínez-Velázquez³  Moisés Montaña Bermúdez⁴  Argel Flores Primo¹
 Rodolfo Canseco Sedano¹  Jorge Genaro Vicente Martínez¹  Vicente Eliezer Vega-Murillo^{1*}

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

²Campo Experimental Las Margaritas, Inifap, Puebla, México.

³Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Inifap, Nayarit, México.

⁴Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Inifap, Querétaro, México.

*Autor de correspondencia: Vicente Eliezer Vega-Murillo, Miguel Ángel de Quevedo S/N, esq. Yáñez, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, 91710, Veracruz, México. vvega@uv.mx

Recibido: 14 de diciembre de 2023
Aprobado: 29 de octubre de 2024
Publicado: 29 de noviembre de 2024

Editor temático: Diego Hernán Bejarano, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Mosquera, Colombia.

Para citar este artículo: Ledesma Rodríguez, A., Calderón Robles, R. C., Ríos-Utrera, Á., Martínez-Velázquez, G., Montaña Bermúdez, M., Flores Primo, A., Canseco Sedano, R., Vicente Martínez, J. G., & Vega-Murillo, V. E. (2024). Factores genéticos y ambientales que afectan la permanencia productiva en ganado Holstein, Suizo Pardo y sus cruzas recíprocas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(3), e3692. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num3_art:3641

Resumen: la permanencia productiva (PP) se define como la probabilidad de la vaca de sobrevivir a una edad específica. En México no existen estudios actuales sobre PP en ganado lechero bajo condiciones subtropicales, por tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los factores genéticos y ambientales que pudieran afectar la PP en ganado Holstein, Suizo Pardo y sus cruzas recíprocas. El estudio se realizó con información recopilada en el sitio experimental Las Margaritas (Inifap, Puebla). Las características de permanencia analizadas fueron: la probabilidad de que las hembras tuvieran una (PP1L), dos (PP2L), tres (PP3L), cuatro (PP4L) y cinco (PP5L) lactancias, dado que tuvieron un primer parto. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó un modelo lineal generalizado, asumiendo una distribución binomial con una función de enlace probit. Cada modelo incluyó los efectos fijos de raza del padre y de la madre, año de nacimiento, época de nacimiento y la interacción raza del padre por raza de la madre. Los efectos ambientales no fueron estadísticamente significativos, a excepción del año de nacimiento para PP3L y PP4L. La interacción raza del padre por raza de la madre fue significativa para PP3L, PP4L y PP5L, y tanto las hembras puras como las cruas tuvieron una permanencia productiva similar para la segunda y tercera lactancia. Por el contrario, para PP4L y PP5L, las cruas recíprocas tuvieron un mejor desempeño, lo que indicó una mayor permanencia en el hato a medida que avanzaba el número de lactancias.

Palabras clave: *Bos taurus* x *Bos taurus*, condiciones subtropicales, diallel, ganado lechero, longevidad, México.

Abstract: Stayability (STAY) is defined as the probability of the cow surviving to a specific age, given the opportunity to reach that age. In Mexico, there are no current studies on STAY in dairy cattle under subtropical conditions. Therefore, the present study aimed to analyze the genetic and environmental factors that can affect STAY in Holstein, Brown Swiss cattle and their reciprocal crosses. The study was conducted with information collected at Las Margaritas experimental site (INIFAP, Puebla). The stayability traits analyzed were: The probability that the females had one (PP1L), two (PP2L), three (PP3L), four (PP4L) and five (PP5L) lactations given that they had a first calving. For the statistical analysis of the data, a generalized linear model was used, assuming a binomial distribution with a probit link function. Each model included the fixed effects of sire breed, dam breed, year and season of birth, and the sire x dam breed interaction. The environmental effects were not statistically significant, except for year of birth for PP3L and PP4L. The sire x dam breed interaction was significant for PP3L, PP4L, and PP5L. Both the pure cows and the crosses had a similar stayability for the second and third lactation. On the other hand, for PP4L and PP5L, the reciprocal crosses had a better performance, which indicated a greater permanence in the herd as the number of lactations advanced. For future studies, it is recommended to include other dairy genotypes, as well as to estimate the additive and non-additive genetic components of STAY in order to determine if the implementation of crossbreeding systems is a feasible alternative to increase the permanence of cows to successive lactations.

Keywords: *Bos taurus* x *Bos taurus*, subtropical conditions, diallel, dairy cattle, longevity, Mexico.



Introducción

En el ganado lechero, la longevidad ha sido descrita como el tiempo que la vaca permanece siendo productiva en el hato (Shabalina et al., 2020) y está asociada con una disminución de los costos de la producción de vaquillas de reemplazo y un incremento de la productividad del rebaño (Schuster et al., 2020). La longevidad representa la habilidad de la vaca para evitar, tanto el sacrificio voluntario como el involuntario (Abdelharith et al., 2019); sin embargo, en las evaluaciones genéticas, los rasgos que reflejan el desempeño durante toda la vida del animal, solo pueden ser medidos después de su muerte (Shabalina et al., 2020). Una alternativa para estimar la longevidad desde edades tempranas es la permanencia productiva (PP), la cual se define como la probabilidad de que una hembra sobreviva a una edad específica, dada la oportunidad de que alcance dicha edad (Hardie et al., 2021). En el ganado lechero, otra definición útil es la probabilidad de que la hembra alcance una lactancia específica (Shabalina et al., 2020).

Para que un hato ganadero sea rentable, las vacas deben permanecer en producción hasta que se obtenga un retorno económico compatible con sus costos de cría y mantenimiento (Silva et al., 2021). La PP combina la eficiencia productiva y reproductiva de las hembras (Brasil Ramos et al., 2020), por lo que depende tanto de características del propio animal (genotipo, producción de leche, salud, fertilidad), como de factores externos (precio de la leche, disponibilidad de reemplazos, ambiente) (Schuster et al., 2020).

Guerra Montenegro et al. (2020) plantean que los factores ambientales influyen directamente en el rendimiento del ganado y deben ser controlados previamente en las evaluaciones genéticas. Los principales efectos ambientales incluyen características de desempeño de la vaca (duración del periodo seco, duración del periodo parto-concepción, días en lactancia), efectos causados por el manejo zootécnico del hato (número de ordeños diarios, sistema de alimentación, sistema de ordeño), aquellos causados por el ciclo de vida (edad y número de partos de la vaca), así como el año de nacimiento del animal y la época o año de parto (Ramírez-Rivera et al., 2019).

En ausencia de intervención humana, el ganado bovino vive alrededor de 20 años; sin embargo, la vida promedio de las vacas en el hato ronda entre los cuatro o cinco años y medio (2,4 y 3,6 lactaciones; Council on Dairy Cattle Breeding, 2019). Esto significa que, aproximadamente, entre el 11 % y el 22 % de los animales jóvenes son sacrificados antes del primer parto, y entre el 8 % y el 19 % de las vacas son descartadas dentro de su primera lactación (Brickell y Wathes, 2011), lo que resulta en pérdidas económicas para el productor. La mayoría de las decisiones de descarte son tomadas antes de que el animal alcance su máximo potencial productivo (Schuster et al., 2020). Valente et al. (2017), para vacas de la raza Nelore, definieron la PP como la probabilidad de que las hembras tuvieran al menos tres partos antes de los 65 meses de edad. Estos autores reportaron un porcentaje de permanencia en el hato de aproximadamente un 41,6 %. Por su parte, Rocha et al. (2018) concluyeron que un descenso en la PP (de 69 % a 29 % a los 48 y 54 meses) demuestra las dificultades que tienen los ganaderos para mantener en el rebaño vacas Holstein (HO) con buen comportamiento productivo y reproductivo, a medida que avanza el tiempo; mientras que Handcock et al. (2020), para cruces Holstein × Jersey, observaron que la PP de las novillas disminuyó del 92 % al 61 % desde el primer al tercer parto y Silva et al. (2021) verificaron una mayor tasa de descarte durante las primeras gestaciones, lo que puede estar asociado con un deficiente desempeño reproductivo o el criterio de eliminación subjetivo

utilizado por el ganadero. Además, la PP puede estar asociada con la habilidad materna y el peso del ternero al destete.

En México, el número de investigaciones sobre PP para ganado en condiciones tropicales es reducido y los estudios se han enfocado principalmente en bovinos de carne (Baeza-Rodríguez et al., 2017; Leano et al., 2017; Ríos-Utrera et al., 2015; Vega-Murillo et al., 2006), debido a la importancia que tiene esta característica sobre la rentabilidad y productividad de la industria cárnica. Las razas lecheras, por otra parte, han recibido muy poca atención. Además, no existen estudios sobre la influencia del ambiente en la PP. Es por ello que el presente estudio tuvo como objetivo determinar los factores genéticos y ambientales que afectan la permanencia productiva de la primera a la quinta lactancia en ganado HO, Suizo Pardo (SP) y sus cruzas recíprocas. Se espera que tanto el componente genético, como el ambiental, tengan un marcado efecto sobre la permanencia de las vacas a lactancias sucesivas.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó con información recopilada en el sitio experimental Las Margaritas, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), ubicado en la latitud 19° 20'N y longitud 97° 20'O, a 500 m s.n.m., en el estado de Puebla, México. El clima es subtropical húmedo y semicálido, con una temperatura media anual de 20,8 °C y precipitación pluvial promedio anual de 3000 mm (Calderón-Robles et al., 2011).

Población de estudio

Se utilizó la información productiva y genealógica de 171 vacas HO, SP y sus cruzas recíprocas F₁; para un total de 568 registros de lactancias (tabla 1). Los animales nacieron entre enero de 1996 y mayo de 2011. Se establecieron tres épocas en función de la distribución de los nacimientos: (1) seca, (2) lluviosa y (3) fría.

Tabla 1. Número total de animales y lactancias por grupo genético

Raza	Total de animales	Total de lactancias
$\frac{1}{2}$ HO $\times$ $\frac{1}{2}$ SP	20	80
$\frac{1}{2}$ SP $\times$ $\frac{1}{2}$ HO	23	101
HO	49	169
SP	79	218
Total	171	568

HO: Holstein, SP: Suizo Pardo.

Fuente: Elaboración propia

Manejo reproductivo

Las vaquillas se integraron al lote de manejo reproductivo cuando alcanzaron aproximadamente 350 kg de peso. Cada 15 días se realizaron palpaciones de los genitales internos para comprobar el estado fisiológico y anatómico de los mismos e identificar posibles problemas uterinos. La detección de calores (estros) se llevó a cabo de 06:00 a 07:00 horas y de 17:00 a 18:00 horas, con la ayuda de un toro con el pene desviado. Las hembras en celo se inseminaron de forma convencional: si se detectó que estaban en calor en la mañana, se inseminaron por la tarde y si se detectaron en calor en la tarde, se inseminaron a la mañana siguiente. A las vaquillas repetidoras se les dio la oportunidad de recibir dos servicios de inseminación artificial (IA) y dos de monta natural al detectar el celo, pero si no lograron quedar gestantes con estas oportunidades, se desecharon del hato. El diagnóstico de gestación se realizó a partir de los 40 días posteriores a la última inseminación.

Alimentación

Las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional, alternando los periodos de ocupación (de 2 a 3 días) y de descanso de los potreros (de 35 a 40 días), según la época del año, con una carga animal de 2,5 unidades animal por hectárea al año. La alimentación consistió principalmente en forrajes como la caña japonesa (*Saccharum sinense*) o de azúcar (*Saccharum officinarum*), ensilados de maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) y henificados de los pastos Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Pangola (*Digitaria decumbens*), entre otras especies vegetales. Durante la época seca, las vacas recibieron individualmente entre 20 y 30 kg diarios de forraje de corte, adicionados con una mezcla de melaza (97 %) y urea (3 %) a razón de 2 a 3 kg por animal por día. Durante el ordeño, las vacas lactantes recibieron 3,5 kg de alimento concentrado comercial (16 % de proteína cruda y 70 % de nutrientes digestibles), mientras que las vacas secas recibieron 2 kg diarios del mismo tipo de alimento.

Análisis estadístico

Las características de PP se definieron como la probabilidad de la hembra de alcanzar una lactancia específica y se utilizaron los registros de cada lactancia de las vacas para asignar observaciones binarias. Los rasgos de permanencia considerados fueron las probabilidades de que la hembra tuviera una (PP1L), dos (PP2L), tres (PP3L), cuatro (PP4L) o cinco (PP5L) lactancias, dado que tuvo un primer parto. Las observaciones binarias (con 0 indicando fracaso y 1 indicando éxito) se asignaron a las vacas con edad suficiente para haber tenido el número requerido de lactancias, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Número de animales por grupo genético que fracasaron (0) y tuvieron éxito (1) en alcanzar una lactancia específica

Grupo genético	PP1L		PP2L		PP3L		PP4L		PP5L	
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$\frac{1}{2}$ HO $\times$ $\frac{1}{2}$ SP	0	20	3	17	5	15	5	15	7	13
$\frac{1}{2}$ SP $\times$ $\frac{1}{2}$ HO	1	22	2	21	2	21	6	17	8	15
HO	0	49	9	40	17	32	25	24	30	19
SP	4	75	24	55	42	37	52	27	59	20
Total	5	166	38	133	66	105	88	83	104	67

HO: Holstein, SP: Suizo Pardo.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó un modelo lineal generalizado, mediante el procedimiento GLIMMIX del *software* estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2011), para el análisis de los rasgos de permanencia a una lactancia específica:

$$\eta = X\beta + Zs \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

η es el predictor lineal que sigue una distribución binomial

β es el vector $px1$ que incluyó los efectos fijos de época (1, 2, 3), año de nacimiento de la vaca (1996-2011), la raza del padre de la vaca (HO y SP), la raza de la madre de la vaca (HO y SP) y la interacción de la raza del padre por la raza de la madre. La edad de la vaca al primer servicio se incluyó como covariable.

s es el vector $qx1$ que incluyó el efecto aleatorio del semental dentro de raza del semental.

X y Z son matrices de diseño que asocian los elementos de β y s , respectivamente, a los elementos de y : el vector de observaciones o su expectativa condicional.

$$E(y_i|\eta_i) = h(\eta_i) = p_i \quad (\text{ecuación 2})$$

La función de enlace modelada fue la función probit Φ^{-1} , es decir:

$$E(y_i|p_i) = p_i = \Phi(X_i\beta + Z_i s) \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

Φ es la distribución normal acumulada.

p_i denota la probabilidad de éxito de la vaca i , con el éxito definido como, por ejemplo, una vaca que tuvo una, dos, tres, cuatro o cinco lactancias, dado que tuvo un primer parto.

La distribución de Bernoulli para la permanencia a una lactancia específica, donde $y = 0$, denota haber fallado en tener una lactancia (ya sea la primera, segunda, tercera, cuarta o quinta lactancia), dado que la vaca tuvo un primer parto y $y = 1$ denota haber alcanzado una lactancia o todas, dado que la vaca tuvo un primer parto, así:

$$\text{Prob}(\mathbf{y}_i|\mathbf{p}_i) = (\mathbf{p}_i)^{y_i}(1 - \mathbf{p}_i)^{1-y_i} \quad (\text{ecuación 4})$$

Las ecuaciones de estimación para los efectos fijos y aleatorios fueron:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{X} & \mathbf{X}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{Z} \\ \mathbf{Z}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{X} & \mathbf{Z}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{Z} + \mathbf{G}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\boldsymbol{\beta}} \\ \hat{\boldsymbol{s}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y}^* \\ \mathbf{Z}'\mathbf{H}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y}^* \end{bmatrix} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$\mathbf{H} = \frac{\partial \Phi(\mathbf{x}_i\boldsymbol{\beta} + \mathbf{z}_i\mathbf{s})}{\partial \boldsymbol{\eta}'} \quad (\text{ecuación 6})$$

$$\mathbf{y}^* = \mathbf{y} - \Phi(\boldsymbol{\eta}) + \mathbf{H}(\boldsymbol{\eta}) \quad (\text{ecuación 7})$$

$\mathbf{R} = \text{var}(\mathbf{y}|\mathbf{s})$ es una matriz diagonal $n \times n$ con el elemento diagonal, 1 siendo:

$$\mathbf{R}_{ii} = \Phi(\boldsymbol{\eta}_i)(1 - \Phi(\boldsymbol{\eta}_i)) \quad (\text{ecuación 8})$$

Las soluciones para los efectos fijos ($\hat{\boldsymbol{\beta}}$) y aleatorios ($\hat{\boldsymbol{s}}$) se basaron en técnicas de máxima verosimilitud que utilizaron el algoritmo de matriz de información promedio para estimar los componentes de la varianza. Para probar la significancia de los efectos incluidos en el modelo, se utilizó una prueba de razón de verosimilitud. Se ajustó un modelo que incluía todos los efectos considerados para estimar la varianza del efecto del semental dentro de su misma raza.

Posteriormente, la varianza del efecto del semental dentro de su misma raza se mantuvo constante y se comparó dos veces la diferencia en las probabilidades logarítmicas con y sin la inclusión de un nuevo efecto con una distribución de Chi-cuadrado, que tiene grados de libertad iguales al número de efectos estimables añadidos. Las medias de cuadrados mínimos se transformaron a la escala observable con el inverso de la función de enlace, mientras que los errores estándar se transformaron con el método delta. Los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano (BIC) se utilizaron como métodos de bondad de ajuste de los modelos (menores valores indican un mejor modelo).

Resultados y discusión

En la tabla 3 se presentan los niveles de significancia para cada característica de PP analizada. El efecto de año de nacimiento solo fue significativo para PP3L y PP4L, mientras que la interacción raza del padre (RP) por raza de la madre (RM) fue estadísticamente significativa para PP3L, PP4L y PP5L ($p < 0,05$). Los valores de AIC y BIC fueron de 53,65 y -94,49 para PP1L; 184,72 y -225,57 para PP2L; 217,65 y -258,49 para PP3L; 225,33 y -266,17 para PP4L y 216,99 y -257,83 para PP5L, respectivamente.

Tabla 3. Niveles de probabilidad de los efectos incluidos en los modelos estadísticos para analizar características de permanencia productiva de la primera a la quinta lactancia (PP1L-PP5L)

Efecto	Pr > F				
	PP1L	PP2L	PP3L	PP4L	PP5L
Raza del padre (RP)	0,99	0,51	0,74	0,45	0,39
Raza de la madre (RM)	0,99	0,11	0,12	0,28	0,25
Año de nacimiento	0,99	0,09	0,03*	0,04*	0,05
Época de nacimiento	0,95	0,17	0,40	0,81	0,24
RP × RM	0,99	0,09	0,03*	0,00*	0,00*

Nota aclaratoria: *indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para las características de permanencia productiva se presentan en la tabla 4. No se encontraron diferencias ($p > 0,05$) entre las razas puras y sus cruza recíprocas para PP1L, con un porcentaje de permanencia cercano al 100 %. Para la segunda y tercera lactancia, las hembras SP/HO tuvieron los valores más altos de permanencia productiva, mientras que las razas puras y la cruza HO/SP mantuvieron un comportamiento similar. En contraste, para PP4L y PP5L, las cruza tuvieron un mejor comportamiento que las razas puras, lo que reflejó una permanencia más prolongada en el hato a medida que avanzó el número de lactancias.

Tabla 4. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar para medidas de permanencia productiva (%) de la primera a la quinta lactancia, para cada genotipo

RP	RM	N	PP1L	PP2L	PP3L	PP4L	PP5L
HO	HO	49	100,00 ± 10,00 ^a	85,92 ± 5,13 ^{ab}	68,07 ± 7,13 ^{ab}	47,19 ± 7,37 ^b	36,19 ± 7,17 ^b
HO	SP	20	100,00 ± 10,00 ^a	86,94 ± 7,36 ^{ab}	80,09 ± 11,06 ^{ab}	71,25 ± 10,69 ^a	59,77 ± 11,78 ^a
SP	HO	23	100,00 ± 10,00 ^a	92,06 ± 6,18 ^a	88,61 ± 7,86 ^a	73,76 ± 10,51 ^a	62,24 ± 11,65 ^a
SP	SP	79	100,00 ± 10,00 ^a	65,24 ± 6,90 ^b	48,20 ± 7,23 ^b	29,56 ± 6,34 ^b	19,93 ± 5,50 ^b

Notas aclaratorias: ^a, ^b: literales diferentes en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), HO: Holstein, N: tamaño de muestra por cada grupo genético, SP: Suizo Pardo.

Fuente: Elaboración propia

Se observó una tendencia a la disminución en la PP a lactancias consecutivas, ya que solo el 36,19 % de las vacas HO y el 19,93 % de las hembras SP alcanzaron la quinta lactancia. Para las cruza recíprocas, en cambio, los valores de PP estuvieron cercanos al 60 %. Esta elevada tasa de descarte de los animales durante las primeras lactancias puede deberse principalmente a bajas producciones de leche, así como a problemas reproductivos, enfermedades, venta o muerte. Otros factores importantes son la habilidad materna y la disponibilidad de reemplazos (Silva et al., 2021).

Valencia Posadas et al. (2004) estimaron, mediante un modelo animal univariado, la habilidad de permanencia a los 48 meses de edad de 47 609 vacas HO mexicanas y los autores informaron que el 91 % de las hembras alcanzaron los 36 meses de edad, aproximadamente el final de la primera lactancia, mientras que solo el 60 % de ellas llegaron a los 48 meses de edad (segunda lactancia). Estos resultados coinciden con lo obtenido en el presente estudio para la raza pura SP, donde el 65,24 % de las vacas tuvieron una segunda lactancia. Por su parte, Valencia Posadas et al. (2004) concluyeron que la habilidad de permanencia hasta determinada edad puede ser utilizada como un indicador temprano de la longevidad.

Las cruasas recíprocas tuvieron los valores más altos de PP a cada lactancia, mientras que las razas puras mostraron los porcentajes más bajos. Se ha comprobado que la longevidad del ganado depende también de factores no genéticos relacionados con el hato, la crianza y el ambiente (Okuyucu et al., 2018). Fennewald et al. (2018) plantearon que las hembras en regiones cálidas suelen tener una menor PP en comparación con las vacas de entornos templados. En las regiones subtropicales mexicanas, los animales están sometidos a altas temperaturas, lo que puede generar situaciones de estrés térmico. Las vacas HO tienen dificultad para adaptarse a los climas cálidos y húmedos (Briñez et al., 2008); sin embargo, se ha comprobado que los cruasas entre HO y SP son más resistentes a las condiciones climáticas estresantes (El-Tarabany et al., 2016), esto sugiere que los híbridos F_1 pudieran tener mayor capacidad de adaptación al estrés térmico, respaldado por características fisiológicas y genéticas (heterosis) que les permiten mantener un rendimiento productivo en condiciones ambientales desafiantes y así garantizar una mayor permanencia en el hato.

En un estudio con ganado mexicano productor de carne, Vega-Murillo et al. (2006) evaluaron la probabilidad de que las hembras tuvieran dos, tres, cuatro y cinco partos, dado que se les dio la oportunidad de parir una sola vez. Los autores analizaron, mediante un modelo mixto umbral, los datos pertenecientes a 221 vacas de la raza Brahman y los cruasas F_1 Angus $\times$ Cebú, Suizo Pardo $\times$ Cebú, Charolais $\times$ Cebú y Hereford $\times$ Cebú. Vega-Murillo et al. (2006) también reportaron que el efecto de época de nacimiento no fue estadísticamente significativo, mientras que el año de nacimiento solo fue significativo para la permanencia al quinto parto. Las características ambientales propias de cada año son irrepetibles, solo se presentan una vez en la vida del animal, por lo tanto, su efecto se suele incluir en los modelos estadísticos como una forma de controlar la variación no explicada y reducir el error experimental (Gomes, 2022). Con respecto a la permanencia por partos consecutivos, los resultados son similares a lo encontrado en el presente estudio. La probabilidad de tener dos partos fue mayor para hembras Charolais $\times$ Cebú y Hereford $\times$ Cebú (92 %), mientras que las vacas Angus $\times$ Cebú tuvieron la probabilidad más alta de tener cinco partos (62 %). Brahman, en cambio, presentó los valores más bajos de permanencia, lo que reflejó la susceptibilidad de las razas puras a ser descartados del hato, ya sea por desecho voluntario o involuntario. Las diferencias en PP pueden deberse a las razas utilizadas, así como a la política de descarte implementada por cada unidad de producción.

Leano et al. (2017) estimaron medidas de PP para diferentes grupos raciales en un hato de doble propósito en el trópico húmedo mexicano. Los autores utilizaron registros de 129 vacas en producción, resultantes de las cruasas de HO, SP y Montbeliarde $\times$ Cebú. Para el análisis de las variables, se definió la permanencia como la probabilidad de la vaca de tener tres crías

(permanencia al nacimiento) y de destetar tres crías (permanencia al destete), dado que tuvo un primer parto. Los autores utilizaron un modelo umbral mixto con función de enlace probit y encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los años de nacimiento para cada medida de permanencia analizada; sin embargo, no detectaron diferencias entre las épocas de nacimiento ni entre las cruza raciales, lo cual difiere de lo obtenido en el presente estudio. Los valores de permanencia al nacimiento para las cruza de HO y SP (45 % y 59 %, respectivamente) fueron inferiores a lo aquí reportado, sin embargo, se debe tener en cuenta que en ambos estudios se utilizaron grupos raciales con diferentes porcentajes de genes HO y que las medidas de permanencia analizadas difirieron en su definición. Los autores concluyeron que los bajos valores de PP son un indicador de que las hembras están siendo desechadas del hato antes de pagar sus costos de cría y mantenimiento, por lo que no se está obteniendo el retorno económico deseado.

Rocha et al. (2018), para ganado HO brasileño, estimaron la habilidad de permanencia de la vaca en el hato. Para ello, definieron dos características de permanencia: la probabilidad de la hembra de permanecer en el rebaño desde el nacimiento hasta los 48 y 54 meses de edad, y la probabilidad de permanecer hasta los 36 y 48 meses después del parto. Los autores utilizaron un modelo animal umbral con enfoque bayesiano y observaron una reducción del 69 % al 29 % en la permanencia a los 48 y 54 meses de edad. Estos valores difieren de lo encontrado en el presente estudio, lo cual puede deberse principalmente al tamaño de muestra analizado, a las diferencias raciales, así como a las condiciones ambientales y a las políticas de descarte, sin embargo, ambos resultados reflejan las dificultades que tienen los ganaderos para mantener en el rebaño vacas con buen comportamiento productivo y reproductivo a medida que avanza el tiempo.

En un estudio más reciente, Hardie et al. (2021) analizaron la permanencia a cinco partos consecutivos en vacas HO pertenecientes a una granja orgánica de Estados Unidos. Los valores reportados (de 65 % a 14 %) son muy inferiores a lo aquí encontrado. Esto puede deberse al protocolo de descarte implementado por la granja orgánica, donde todos los animales tratados con antibióticos fueron desechados del hato. También se puede atribuir al manejo y la alimentación que recibieron los animales, ya que la condición corporal influye positivamente en la probabilidad de tener partos consecutivos en años subsecuentes (Handcock et al., 2020).

Uno de los principales objetivos del cruzamiento de vacas HO con toros de diferentes razas es mejorar la longevidad de la progenie, a la par que se mantiene una producción adecuada de leche. El cruzamiento elimina los problemas asociados con la endogamia y resulta en heterosis, lo cual contribuye a extender la esperanza de vida de las cruza y mejora los rasgos de salud o fertilidad (Puppel et al., 2018). Jonsson (2015) encontró que las cruza F_1 entre HO y Sueco Rojo fueron superiores en longevidad con respecto a las razas puras. Sus resultados mostraron una menor incidencia de enfermedades reproductivas y metabólicas durante la primera lactancia y una disminución de la ocurrencia de mastitis en la tercera lactancia. Las características de fertilidad también se vieron favorecidas en los híbridos. Por su parte, Puppel et al. (2018) reportaron que los cruces F_1 presentaron rasgos funcionales más favorables con respecto a las vacas HO puras, lo que permitió reducir el descarte involuntario de los animales.

Conclusiones

Mejorar la PP del ganado permitirá aumentar la productividad promedio del rebaño, al mantener en el hato una mayor proporción de hembras en los grupos de edad de mayor producción. Además, se disminuirán los costos anuales asociados al mantenimiento de vacas de reemplazo y el ganadero tendrá más posibilidades para el sacrificio voluntario (Rocha et al., 2018).

Con excepción del año de nacimiento, la época de nacimiento no tuvo un impacto significativo en la permanencia productiva para una lactancia específica y los resultados sugieren que mantener vacas cruzadas puede contribuir a aumentar la longevidad del hato, ya que estas hembras tuvieron mayor PP a medida que avanzaba el número de lactancias. En cambio, las razas puras mostraron una tasa de descarte más alta.

Para futuros estudios, se recomienda incluir otros genotipos lecheros, así como estimar los componentes genéticos aditivos y no aditivos de la PP, a fin de determinar si la implementación de sistemas de cruzamientos es una alternativa factible para incrementar la permanencia de las vacas a lactancias sucesivas.

Agradecimientos

Todos los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) por aportar los datos para la realización del estudio, y la autora Anel Ledesma Rodríguez agradece al Conahcyt por la beca otorgada.

Contribución de los autores

Anel Ledesma Rodríguez: concepción y diseño del estudio, análisis, escritura del borrador, revisión y comentarios; René Carlos Calderón Robles: concepción y diseño del estudio, preparación del material, recolección de datos, revisión y comentarios; Ángel Ríos-Utrera: concepción y diseño del estudio, preparación del material, recolección de datos, revisión y comentarios; Guillermo Martínez-Velázquez: concepción y diseño del estudio, preparación del material, recolección de datos, revisión y comentarios; Moisés Montaña Bermúdez: concepción y diseño del estudio, preparación del material, recolección de datos, revisión y comentarios; Argel Flores Primo: concepción y diseño del estudio, revisión y comentarios; Rodolfo Canseco Sedano: concepción y diseño del estudio, revisión y comentarios; Jorge Genaro Vicente Martínez: concepción y diseño del estudio, revisión y comentarios; Vicente Eliezer Vega-Murillo: concepción y diseño del estudio, preparación del material, recolección de datos, análisis, revisión y comentarios.

Implicaciones éticas

El presente estudio es observacional retrospectivo, por lo que el manuscrito no contiene estudios clínicos ni datos de pacientes.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés en este estudio y están de acuerdo con la publicación del manuscrito.

Financiación

La autora Anel Ledesma Rodríguez recibió financiación del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) durante la preparación de este manuscrito, así como del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Disponibilidad de datos

La base de datos generada y analizada durante el estudio actual no está disponible públicamente debido a políticas institucionales.

Referencias

- Abdelharith, H., Abd-Elatife, M., Ghoneim, E., & Abd Elhamid, M. (2019). Genetic and phenotypic relationships among first lactation traits and some longevity and lifetime traits in Friesian cattle. *Egyptian Journal of Animal Production*, 56(2), 55-62. <https://doi.org/10.21608/ejap.2019.92997>
- Baeza Rodríguez, J. J., Vega Murillo, V. E., Ríos Utrera, Á., Martínez Velázquez, G., Arechavaleta Velasco, M. E., & Montaña Bermúdez, M. (2017). Prototipo de evaluación genética nacional para fertilidad de vaquillas Simmental-Simbrah y Charolais-Charbray. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 249-258. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4252>
- Brasil Ramos, P. V., Fonseca e Silva, F., Campos da Silva, L. O., Garcia Santiago, G., de Oliveira Menezes, G. R., Soriano Viana, J. M., Torres Júnior, R. A. A., Gondo, A., & Brito, L. F. (2020). Genomic evaluation for novel stayability traits in Nellore cattle. *Reproduction in Domestic Animals*, 55(3), 266-273. <https://doi.org/10.1111/rda.13612>
- Brickell, J. S., & Wathes, D. C. (2011). A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 94(4), 1831-1838. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3710>
- Briñez, W. J., Valbuena, E., Castro, G., Tovar, A., & Ruiz-Ramírez, J. (2008). Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el

- municipio Machiques de Perijá. Estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica*, 18(5), 607-617. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592008000500012
- Calderón-Robles, R. C., Flores-Domínguez, B., Ríos-Utrera, Á., Rosete-Fernández, J. V., & Lagunes-Lagunes, J. (2011). Reproductive performance of Holstein and Brown Swiss cows under intensive grazing in a humid subtropical climate. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 429-435. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942020.pdf>
- Council on Dairy Cattle Breeding. (2019). *Trend in productive life for Holstein or Red and White*. <https://uscdcb.com/>
- El-Tarabany, M., Roushdy, E. M., & El-Tarabany, A. (2016). Production and health performance of Holstein, Brown Swiss and their crosses under subtropical environmental conditions. *Animal Production Science*, 57(6), 1137-1143. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15809>
- Fennewald, D. J., Weaber, R. L., & Lamberson, W. R. (2018). Genotype by environment interaction for stayability of Red Angus in the United States. *Journal of Animal Science*, 96(2), 422-429. <https://doi.org/10.1093/jas/skx080>
- Gomes, D. G. E. (2022). Should I use fixed effects or random effects when I have fewer than five levels of a grouping factor in a mixed-effects model? *PeerJ*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.7717/peerj.12794>
- Guerra Montenegro, R., Menéndez Buxadera, A., & Hernández Rodríguez, A. (2020). Influencia de factores ambientales en la producción de leche de dos rebaños Holstein en la cuenca lechera de Chiriquí. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 2(1), 18-33. https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/1063/884
- Handcock, R. C., Lopez-Villalobos, N., McNaughton, L. R., Back, P. J., Edwards, G. R., & Hickson, R. E. (2020). Body weight of dairy heifers is positively associated with reproduction and stayability. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 4466-4474. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17545>
- Hardie, L. C., Heins, B. J., & Dechow, C. D. (2021). Genetic parameters for stayability of Holsteins in US organic herds. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4507-4515. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19399>
- Jonsson, R. (2015). *Estimation of heterosis and performance of crossbred Swedish dairy cows* [tesis de maestría, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia]. Epsilon Archive for Student Projects. https://stud.epsilon.slu.se/7812/7/jonsson_r_150420.pdf
- Leano, M. A., Vega-Murillo, V. E., & Gudiño, R. S. (2017). *Caracterización de la permanencia productiva de vacas Bos taurus x Bos indicus en un hato bovino de doble propósito en el trópico húmedo* [conferencia]. Congreso de la Asociación de Médicos Veterinarios Zootecnistas Especialistas en Bovinos del Estado de Veracruz, Veracruz, México. https://www.researchgate.net/publication/320432380_CHARACTERIZACION_DE_LA_PERMANENCIA_PRODUCTIVA_DE_VACAS_Bos_taurus_x_Bos_indicus_EN_UN_HATO_BOVINO_DE_DOBLE_PROPOSITO_EN_EL_TROPICO_HUMEDO
- Okuyucu, I. C., Erdem, H., & Atasever, S. (2018). Variation in milk production of Brown Swiss cows by calving season, stage of lactation and year. *Animal Science*, 61(1), 140-142. <https://animalsciencejournal.usamv.ro/index.php?id=504>
- Puppel, K., Bogusz, E., Gołębiowski, M., Nałęcz-Tarwacka, T., Kuczyńska, B., Slósarz, J., Budziński, A., Solarczyk, P., Kunowska-Slósarz, M., & Przysucha, T. (2018). Effect of

- dairy cow crossbreeding on selected performance traits and quality of milk in first generation crossbreds. *Journal of Food Science*, 83(1), 229-236. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13988>
- Ramírez-Rivera, E. J., Rodríguez-Miranda, J., Huerta-Mora, I. R., Cárdenas-Cágal, A., & Juárez-Barrientos, J. M. (2019). Tropical milk production systems and milk quality: a review. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1295-1305. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>
- Ríos-Utrera, A., Montaña-Bermúdez, M., Martínez-Velázquez, G., Baeza-Rodríguez, J. J., & Vega-Murillo, V. E. (2015). *Componentes de varianza y heredabilidad de la permanencia productiva en la población Charolais - Charbray Mexicana*. En XXVI Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014. [https://www.academia.edu/6937934/Componentes de Varianza y Heredabilidad de la Permanencia Productiva en la Poblaci%C3%B3n Charolais - Charbray Mexicana](https://www.academia.edu/6937934/Componentes_de_Varianza_y_Heredabilidad_de_la_Permanencia_Productiva_en_la_Poblaci%C3%B3n_Charolais_-_Charbray_Mexicana)
- Rocha, G. M. F., Cobuci, J. A., Costa, C. N., Abreu, L. R. A., Mota, L. F. M., Pires, A. V., Villela, S. D. J., & Martins, P. G. M. (2018). Genetic association between stayability, and productive and reproductive traits in Holstein cows. *Animal Production Science*, 58(10), 1788-1793. <https://doi.org/10.1071/AN16563>
- SAS Institute Inc. (2011). *SAS/STAT® 9.3 User's guide*. SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/stat/930/>
- Schuster, J. C., Barkema, H. W., De Vries, A., Kelton, D. F., & Orsel, K. (2020). Invited review: academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11008-11024. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>
- Shabalina, T., Yin, T., & König, S. (2020). Influence of common health disorders on the length of productive life and stayability in German Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 583-596. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16985>
- Silva, D. O., da Silva Morales, D., Santana, M. L., Rocha Ayres, D., Braga Bignardi, A., Carneiro, R., Piccoli, M. L., Mozaquatro Roso, V., & Junqueira Pereira, R. (2021). Genetic analyses of stayability to consecutive calvings in taurine and crossbred (*Bos indicus* x *Bos taurus*) cattle. *Livestock Science*, 244: 104331. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104331>
- Valencia Posadas, M., Ruíz López, F. J., & Montaldo Valdenegro, H. H. (2004). Estimación de parámetros genéticos para características de longevidad producción de leche en ganado Holstein en México. *Interciencia*, 29(1), 52-56. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000100013
- Valente, T. S., Albino, O. D., Sant'Anna, A. C., Carneiro, R., Baldi, F., Albuquerque, L. G., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2017). Genetic parameter estimates for temperament, heifer rebreeding, and stayability in Nellore cattle. *Livestock Science*, 206, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.10.010>
- Vega-Murillo, V. E., Ríos-Utrera, A., & Montaña-Bermúdez, M. (2006). *Stayability of Brahman and F₁ crossbred Angus, Hereford, Charolais and Brown Swiss x Zebu cows* [conferencia]. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Brasil. https://www.researchgate.net/publication/281624950_Stayability_of_Brahman_and_F1_Crossbred_Angus_Hereford_Charolais_and_Brown_Swiss_x_Zebu_cows