



Original

Efectos genéticos en producción de ganado lechero bajo diferentes zonas de vida en Panamá

Genetic effects on dairy cattle production under different life zones in Panama

Aníbal Sánchez *, Reggie Guerra *, Kirtvin Mojica *, Alberto Menéndez-Buxadera **

*Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

**Consultor Independiente.

Correspondencia: anibal-m.sanchez-s@up.ac.pa

Recibido: Julio, 2025; Aceptado: Agosto, 2025; Publicado: Septiembre, 2025.

RESUMEN

Antecedentes: En Panamá el aumento sostenido en el consumo de leche ha puesto de manifiesto una creciente dependencia de fuentes externas para satisfacer las necesidades del consumo nacional. Dicha situación ha evidenciado una limitante en la capacidad productiva del sector lechero, esto ha llevado a las autoridades a promover estrategias de fortalecimiento mediante programas de mejoramiento genético. **Objetivo.** Evaluar los efectos genéticos aditivos de heterosis y recombinación génica sobre la producción de leche de bovinos de las razas Holstein, Brown Swiss y sus cruces, considerando la interacción de cinco zonas de vida. **Métodos:** Se utilizó un modelo lineal generalizado con medidas repetidas en el tiempo (MLGR) con efectos fijos de grupos contemporáneos. **Resultados:** La heterosis varió entre las zonas de vida, lo que indica que existe un beneficio del uso de esta, siendo más marcada en el Bosque Pluvial Montano Bajo, mientras que para las otras zonas fue menor. La recombinación mostró efectos negativos en la mayoría de las zonas de vida, lo que sugiere que la segregación génica podría reducir la eficiencia productiva. En general los cruzamientos superaron a los animales puros en la mayoría de las zonas de vida, salvo en el Bosque Muy Húmedo Tropical. **Conclusiones:** Los hallazgos refuerzan la importancia de implementar estrategias de mejoramiento genético en función de las zonas de vida dado que los efectos de aditividad y recombinación varían de acuerdo con estas.

Palabras claves: cruzamiento, lactancia, raza, vigor híbrido (*Fuente: AGROVOC*)

ABSTRACT

Background: In Panama, the sustained increase in milk consumption has highlighted a growing dependence on external sources to meet national consumption needs. This situation has highlighted a limitation on the productive capacity of the dairy sector, leading authorities to promote strengthening strategies through genetic improvement programs. **Objective.** To evaluate the additive genetic effects of heterosis and genetic recombination on milk production in Holstein and

Como citar (APA) Sánchez, A., Guerra, R., Mojica, K. y Menéndez-Buxadera, A. (2025). Efectos genéticos en producción de ganado lechero bajo diferentes zonas de vida en Panamá. *Apm*, 37. <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e178>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ISSN 2224-7920

Brown Swiss cattle, and their crossbreeds, considering the interaction of five life zones. **Methods:** A generalized linear model with repeated measures over time (GRMM) with fixed effects of contemporary groups was used. **Results:** Heterosis varied among life zones, indicating a benefit from its use. It was more pronounced in the Lower Montane Rainforest, while it was lower in the other zones. Recombination showed negative effects in most life zones, suggesting that genetic segregation could reduce productive efficiency. In general, crossbreeds outperformed purebred animals in most life zones, except in the Very Humid Tropical Forest. **Conclusions:** The findings reinforce the importance of implementing genetic improvement strategies based on life zones, since the effects of additivity and recombination vary according to these zones.

Keywords: crossbreeding, lactation, breed, hybrid vigor (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

En Panamá, el consumo per cápita de leche ha aumentado considerablemente, situándose alrededor de los 120 litros anuales. Sin embargo, más de la mitad de este consumo proviene de las importaciones, lo que demuestra una brecha en la producción láctea nacional. Conociendo esto las autoridades han promovido el mejoramiento genético, incorporando animales de las razas Holstein, Brown Swiss y sus cruzamientos los cuales han demostrado desempeños favorables para las zonas productivas del país (Guerra-Montenegro & Menéndez-Buxadera, 2020).

El cruzamiento de ganado lechero en sistemas de producción del trópico puede aumentar la productividad mediante el vigor híbrido y la aditividad genética. No obstante, sus beneficios pueden variar dependiendo de los factores ambientales, por lo que se requieren análisis específicos para maximizar el rendimiento en cada uno de los entornos. Este tipo de estudios permite optimizar la selección de razas y estrategias reproductivas adaptadas a las condiciones en las que se desarrolla la explotación, en este caso identificadas como las zonas de vida, para fortalecer la sostenibilidad de la actividad Panamá. Se ha documentado que en vacas cruzadas se ha podido obtener un aumento considerable en la producción respecto a razas locales, lo cual evidencia la eficacia del cruzamiento como herramienta genética en condiciones ambientales desafiantes (Direba *et al.*, 2024).

En la actualidad no existe un estudio en Panamá que compare la interacción factores productivos entre ganado lechero y zonas de vida. Este podría aportar información valiosa de cual raza o combinación racial es la que mejor se ajusta dependiendo de la zona de vida en la que se encuentre la explotación. El objetivo de este trabajo es analizar la influencia de los efectos genéticos aditivos de heterosis y recombinación génica que impactan en la producción de bovinos Holstein, Brown Swiss y sus cruza, evaluando su interacción con las zonas de vida.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos fue obtenida del software VAMMP (Romero-Zúñiga *et al.*, 2019), que se aplica en múltiples rebaños de Panamá, desarrollado en la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional de Costa Rica, por el Centro Regional de Informática para la producción animal sostenible (CRIPAS). Se contó con un total de 951 170 registros periódicos, internacionalmente conocidos como Test Day (TD), realizados entre enero de 1990 y diciembre de 2023 en la provincia

de Chiriquí, Panamá, en un total de 20 fincas (8 736 vacas) en cada una de las cuales había más de un tipo racial.

Se incluyeron vacas Holstein, Brown Swiss y sus cruzamientos con al menos una lactancia registrada entre enero de 1990 y diciembre de 2023 en fincas con más de cinco años de registros continuos en el software VAMPP y localizadas según la zona de vida en Panamá (Romero-Zúñiga *et al.*, 2019).

Además, se aplicaron otros criterios de inclusión y exclusión con el fin de garantizar la calidad y la homogeneidad de los datos analizados. Se incluyeron únicamente lactancias con un mínimo de 5 días en ordeño y una producción acumulada igual o superior a 300 kg de leche, lo que concuerda con las recomendaciones metodológicas utilizadas en estudios de evaluación genética de bovinos lecheros (Hernández *et al.*, 2011). Se excluyeron registros duplicados o inconsistentes y aquellos animales sin información suficiente del hato, fecha de parto, genotipo o más de cinco lactancias. Tras la depuración, se obtuvo una base de datos robusta y adecuada para la posterior evaluación genética (Tabla 1).

En las condiciones de este estudio se emplearon como condiciones ambientales el sistema descrito por Holdridge (1977), que denomina como “zonas de vida” el cual utiliza variables ecológicas como la precipitación total anual, la biotemperatura media anual y la altitud para definir los ecosistemas que son aplicado por el Ministerio de Ambiente (2019). Esto permitió comparar la productividad lechera en distintas condiciones ecológicas del país. Dentro de los lugares que formaron parte del estudio estaban en las siguientes zonas de vida, Bosque Húmedo Tropical (bh-T), Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P), Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-MB) y Bosque Pluvial Premontano (bp-P) (Ministerio de Ambiente, 2019).

Tabla1. Distribución de datos de Brown Swiss, Holstein y sus cruces en las diferentes zonas de vida.

Zonas de Vida	Holstein	50 Holstein x 50 Brown Swiss	75 Holstein x 25 Brown Swiss	Brown Swiss	50 Brown Swiss x 50 Holstein	75 Brown Swiss x 25 Holstein	Total
Bosque Húmedo Tropical (bh-T)	60 365	15 392	21 012	12 960	1 635	9195	120 559
Bosque muy Húmedo Tropical (bmh-T)	209 433	11 298	19 959	114 282	53	10 442	365 467
Bosque muy Húmedo Premontano (bmh-P)	33 718	3 694	1 667	37 995	308	1 673	79 055
Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-MB)	41 033	6 291	5 764	1 399	ND	162	54 649
Bosque Pluvial Premontano (bp-P)	295 375	10 358	10 284	14 336	361	726	331 440
Total	639 924	47 033	58 686	180 972	2 357	22 198	951 170

ND: No disponible (El modelo consideró el desbalance en la información).

Los resultados de TD se analizaron mediante un modelo lineal generalizado con medidas repetidas

(MLGR) aplicando el software Echidna (Gilmour, 2018) con efectos fijos de grupos contemporáneos (rebaño-año parto-cuatrimestre natural) con 979 niveles, número de lactancia (cuatro clases), zona de vida (zv con cinco niveles), genotipo del animal que produce el TD (geno con seis clases) y la duración de la lactancia, días en leche agrupadas en clases de 7 días (DIM7, 53 niveles que conforman un año). Se evaluaron interacciones entre zv, geno y DIM7 para analizar sus efectos sobre el nivel de TD, utilizando el programa SAS (SAS Institute Inc., 2021). Las características de este modelo MLGR son las mismas que las presentadas previamente por Guerra-Montenegro y Menéndez-Buxadera (2020) cuya solución permite estimar los TD para cada DIM7, así como la producción anual.

La heterosis se estimó de la siguiente formula ya empleada por Vargas-Leitón y Romero-Zúñiga (2010) $\text{Het \%} = \frac{\text{LS}_{F1} - \text{LS}_{\text{Puro}}}{\text{LS}_{\text{Puro}}} \times 100$ donde, LS_{F1} y LS_{Puro} corresponden con las medias de **mínimos cuadrática** del modelo MLGR correspondiente en F1 y puros respectivamente. Para la estimación de heterosis se emplearon solamente los datos de ambas razas parentales puras y el F1 entre ambas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se analizaron 951 170 registros de tipo *Test Day* (TD) correspondientes a vacas de las razas Holstein, Brown Swiss y sus cruzamientos, distribuidos en cinco zonas de vida de la provincia de Chiriquí, Panamá. Todos los resultados fueron altamente significativos, particularmente las interacciones entre zona, genotipo y DIM7. La evolución de la producción para cada zona de vida se presenta en la Figura 1.

Las medias de mínimos cuadrados presentaron un patrón característico de la curva de lactancia, con un pico máximo entre las semanas cuatro y ocho, seguido de una disminución progresiva hasta el final del periodo. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado y constituye la forma típica de la curva de lactancia en bovinos lecheros, la cual puede modelarse mediante funciones para estimar picos y persistencia (Pangmao *et al.*, 2022).

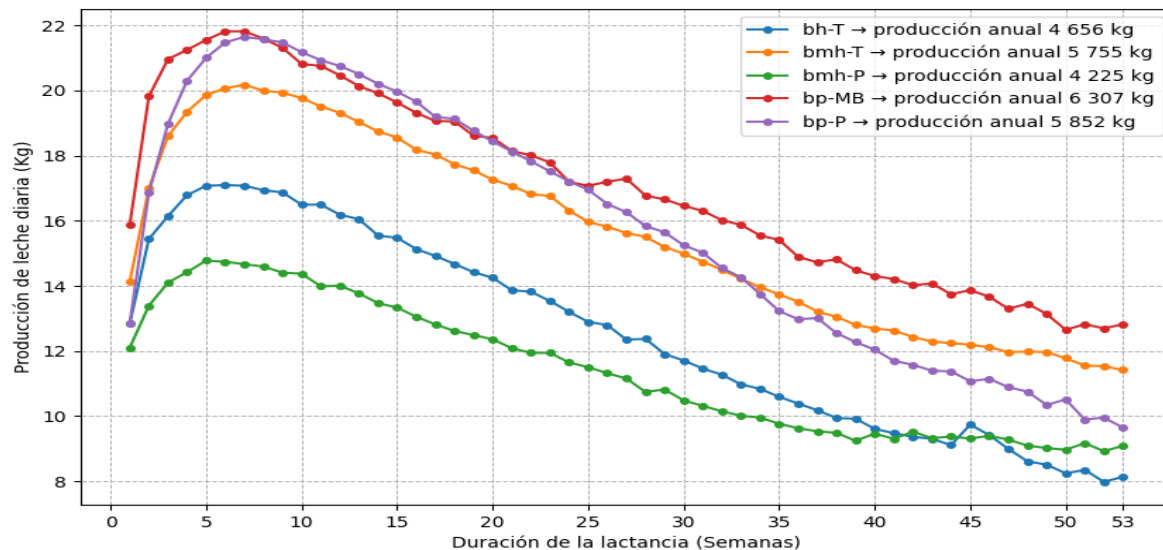


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados de la producción diaria en cada zona de vida.

La diferencia de la producción anual entre la mejor zona de vida para la actividad láctea bp-MB (6 307 kg) y la peor bmh-P (4 225), alcanzó una diferencia de 2 072 kg. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Vargas y Ulloa (2008) en Costa Rica, quienes encontraron diferencias significativas en producción de leche entre zonas agroecológicas, siendo la más alta en bp-MB con 6 586 kg y la más baja en bh-T con 3 522 kg. De igual manera la diferencia en la persistencia productiva (Figura 1) concuerda con revisiones realizadas en sistemas tropicales, donde se ha encontrado que las expresiones fenotípicas están directamente relacionadas con el ambiente local (Osei-Amponsah *et al.*, 2020).

La curva de lactancia varió entre zonas de vida. En bp-P y bmh-T la producción se mantuvo estable, mientras que en bmh-P disminuyó rápidamente tras el pico. Estas diferencias pueden estar relacionadas con factores ambientales que definen las zonas de vida (temperatura, precipitación e índice de humedad). Esta relación también fue destacada por Sánchez *et al.* (2020), quienes reportaron que existen ciertas zonas de vida como bmh-P y bmh-T que presentan variaciones considerables en la producción láctea, debido a la particularidad de cada una de estas zonas influenciando el desempeño de las razas lecheras bajo estudio.

Ambas razas puras y su primer cruce manifiestan una tendencia similar con la ya conocida fase ascendente en las primeras 7 – 8 semanas y después declina paulatinamente a lo largo de la lactancia (Figura 2).

Los animales Holstein llegaron al pico más alto y valores superiores en las primeras semanas posparto; sin embargo, esto no implica superioridad anual por zona. La interacción entre raza, zona de vida y los días de lactancia fueron altamente significativos.

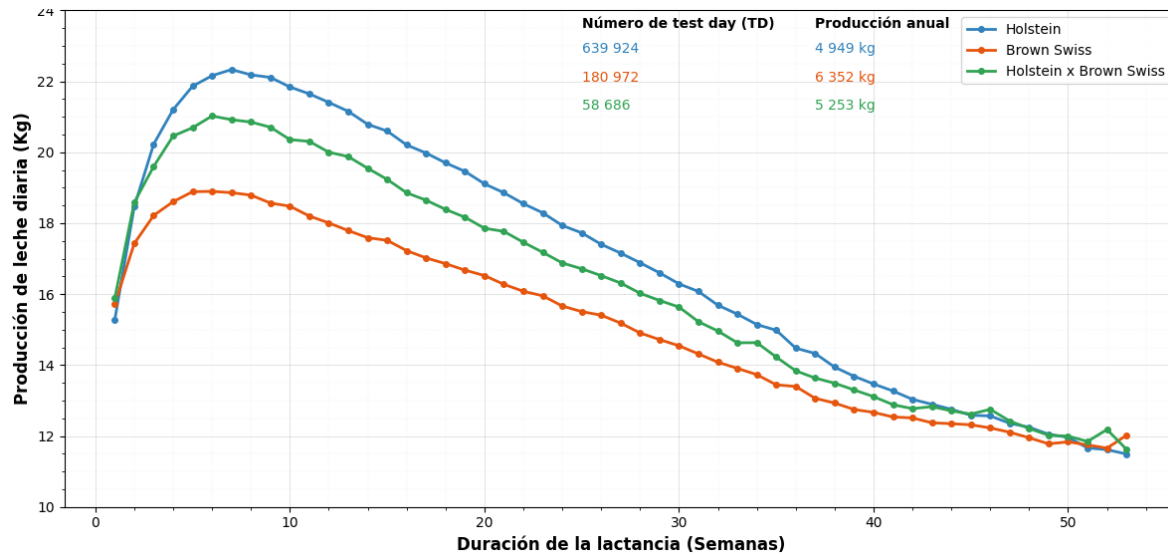


Figura 2. Curva de lactancia entre animales Holstein, Brown Swiss y su cruce (F1).

Se obtuvieron un total de 639 924, 180 972 y 58 686 TD para la raza Holstein, Brown Swiss y el cruce estas razas, respectivamente (Figura 2). La producción de leche tiende a subir durante las primeras semanas, llegando a su punto más alto entre las semanas cinco y siete, para luego ir bajando poco a poco en todos los grupos raciales analizados. La producción anual global en la raza Holstein fue de 6 352 kg, seguida por el cruce F1 con 5 253 kg. Sin embargo, por su parte la raza Brown Swiss produjo un total de 4 949 kg. Esto sugiere que el cruce Holstein x Brown Swiss ayuda a que la producción sea mayor que con solo Brown Swiss, aunque no llega a ser tan alta como la del Holstein puro.

En la raza Holstein se presentó la mayor producción, con un pico de 22 kg/día entre las semanas cinco y siete. Asimismo, los animales F1 alcanzaron una producción intermedia entre las razas Holstein y Brown Swiss, con un pico máximo que llegó a los 21 kg/día, al mismo tiempo las Brown Swiss puras registraron la menor producción, con un pico de 19 kg/día. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Hernández-Zamudio *et al.* (2022), quienes encontraron que las curvas de lactancia en regiones subtropicales muestran patrones de producción similares entre las razas Holstein y sus cruces con Brown Swiss, aunque los animales de la raza Holstein tienden a alcanzar mayores picos de producción. En la persistencia de la lactancia los cruces pueden representar una ventaja bajo las condiciones ambientales de estas regiones.

La Figura 2 también revela las diferencias importantes en la estabilidad de la producción entre los genotipos evaluados. En contraste, hay decrecimiento pronunciado después del pico de producción para la raza Holstein. Por otro lado, la curva para la raza Brown Swiss es más estable. El F1 se mantuvo en el medio entre dos razas parentales en todo el periodo evaluado.

Tabla 2. Efectos de aditividad, heterosis y recombinación en cruces de Holstein y Brown Swiss en diferentes zonas de vida.

Zonas de Vida	Aditividad	Heterosis	Recombinación	Media en animales puros	Media en Holstein x Brown Swiss	Heterosis %
Bosque Húmedo Tropical (bh-T)	14.32	5.39	-6.7	13.14	12.77	2.8
Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T)	19.24	6.03	-12.14	16.48	16.7	1.03
Bosque Húmedo Premontano (bmh-P)	13.51	3.94	-2.46	10.59	11.09	4.7
Bosque Pluvial Premontano (bp-P)	20.42	7.39	9.16	17.06	19.53	14.4
Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-MB)	16.79	8.63	-0.36	16.8	16.92	0.07
Total	14.81	5.9	-4.3	14.81	15.4	4.01

En la producción de leche se encontraron diferencias notables en aditividad, heterosis y la recombinación. Estos resultados subrayan la importancia de considerar no solo el pico de producción láctea, sino también la persistencia de esta, como un criterio relevante de selección genética en ambientes cálidos. Tal como destacan Hernández-Zamudio *et al.* (2022) en su estudio con Holstein, Brown Swiss y sus cruces, en el que encontraron que los modelos de curva de lactancia reflejan diferencias en estabilidad y forma entre los genotipos.

Los efectos de aditividad presentaron sus valores más altos en bp-P y bmh-T con 20.42 kg/día y 19.24 kg/día respectivamente. Esto sugiere que estas zonas favorecen la expresión del potencial productivo lechero. También se encontraron resultados positivos para bp-MB y bh-T, con 16.79 kg/día y 14.32 kg/día respectivamente, aunque en menor magnitud.

En contraste, la zona bmh-P presentó el valor más bajo del efecto aditivo (13.51 kg/día). Estos resultados refuerzan la importancia de incluir el componente genético en los programas de mejora para la producción de leche en las distintas zonas de vida analizadas. Resultados similares fueron reportados por García-Bravo *et al.* (2023), quienes encontraron que los efectos genéticos aditivos fueron relevantes en ambientes subtropicales húmedos, además sugieren que las diferencias genéticas totales entre razas pueden aprovecharse estratégicamente en un balance proporcional con la zona de vida.

En relación con la heterosis también variaron de acuerdo con la zona de vida (3.94 kg/día) en bmh-P y (8.63 kg/día) en bp-MB. En bp-P se obtuvo una mayor heterosis relativa con un (14.40 %), lo que nos indica que, en estas zonas, puede existir un mayor beneficio productivo en comparación con los animales puros. Estos resultados nos sugieren que, en ciertas zonas de vida, puede ser una estrategia positiva la utilización de los cruzamientos para aumentar la producción de leche. Lo que concuerda con estudios realizados por Hernández-Zamudio *et al.* (2022), quienes señalaron que los efectos heterocigóticos pueden expresarse de mejor forma en ambientes desafiantes donde los

animales puros no alcanzan su máximo potencial. En zonas como bp-P el cruzamiento F1 representa una alternativa estratégica para mejorar la productividad.

En los efectos de la recombinación génica los valores fueron mayormente negativos en bmh-T y bmh-P con -12.14 kg/día y -2.46 kg/día, respectivamente. Esto evidencia que la segregación génica puede afectar negativamente la producción de leche en estas zonas, Sin embargo, en bp-P se observó un efecto positivo de 9.16 kg/día. Resultados similares fueron reportados por Dos Santos *et al.* (2021), quienes evaluando vacas Girolando encontraron que los efectos de recombinación fueron en su mayoría negativos, en especial en los picos de producción.

Otros estudios como el de Singhal *et al.* (2019) señalan que la recombinación puede imponer costos de aptitud en los animales cuando se rompen las combinaciones beneficiosas de alelos parentales, un fenómeno conocido como carga de recombinación. A su vez Butlin (2005) destaca que la recombinación puede ser beneficiosa al eliminar combinaciones desfavorables o perjudiciales al romper complejos génicos coadaptados, pero también beneficiosa al generar nuevas combinaciones en ambientes variables. De forma similar Shen *et al.* (2021) señalaron que la tasa de recombinación en bovino se ve modulada por factores ambientales como la edad materna y la temperatura, lo que explica por qué en ciertas zonas se observaron efectos negativos y en otras positivos.

Al comparar la producción promedio de animales puros y cruzados, los animales cruzados superaron a los puros en 4 de 5 zonas (bmh-T, bmh-P, bp-P y bp-MB), mientras que en bh-T los puros obtuvieron valores mayores. No obstante, en bmh-T, la producción de los animales puros (16.48 kg/día) ligeramente inferior a la de los cruzados (6.70 kg/día).

En ciertas zonas, la combinación genética no garantiza mayor producción; la adaptación al ambiente es determinante en el rendimiento. El éxito del cruzamiento depende de seleccionar la combinación de razas adecuada según el entorno (Goh *et al.*, 2022). Estos resultados confirman que la raza Holstein aporta una mayor aditividad en todas las zonas evaluadas, siendo bp-P y bmh-T las más favorables para su expresión. Asimismo, la heterosis presentó valores variables, con bp-MB como la zona donde el cruzamiento tuvo el mayor aumento en la producción. Sin embargo, la recombinación mostró efectos negativos en algunas zonas, lo que resalta la necesidad de evaluar las condiciones ambientales antes de implementar estrategias de mejoramiento genético en sistemas de producción lechera.

En conjunto, los resultados nos muestran que el mayor pico de producción se dio en la raza Holstein, la persistencia más estable en Brown Swiss, las ventajas en producción promedio las obtuvieron los animales F1 en cuatro de las cinco zonas evaluadas, lo que sugiere que la respuesta depende tanto de la forma de la curva como de las condiciones ambientales.

CONCLUSIONES

La raza Holstein mostró consistentemente los mayores picos de producción de leche, mientras que los cruzamientos presentaron mayor persistencia y, en determinadas zonas de vida, producciones anuales comparables o superiores.

La heterosis fue especialmente favorable en zonas como bp-MB y bp-P, lo que evidencia el potencial del cruzamiento como herramienta estratégica para ambientes menos restrictivos.

Los efectos de recombinación resultaron negativos en zonas muy húmedas, sugiriendo que en ambientes de mayor estrés climático los cruzamientos complejos deben evitarse. En cambio, en zonas más estables pueden aprovecharse para diversificar la base genética.

Los programas de mejoramiento genético deben adaptarse a las zonas de vida. La raza Holstein debe priorizarse en hatos donde se busque maximizar picos productivos, mientras que los cruzamientos controlados son recomendables para aumentar persistencia y resiliencia en ambientes adversos.

REFERENCIAS

- Butlin, R. K. (2005). Recombination and speciation. *Molecular Ecology*, 14(9), 2621–2635. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02617.x>
- Direba, A., Tulu, D., & Habte, G. (2024). Genetic improvement of dairy cattle in tropical smallholder systems: A review. *Frontiers in Genetics*, 13, 1106709. <https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1106709>
- Dos Santos, D., Padilha, A. H., Gama, L. T., Silva, M. V. G. B., & Cobuci, J. A. (2021). Breed, heterosis, and recombination effects for lactation curves in Brazilian cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e20200085. <https://doi.org/10.37496/rbz5020200085>
- García-Bravo, L. A., Vega-Murillo, V. E., Villagómez-Cortés, J. A., Zárate-Martínez, J. P., Leyva-Ovalle, O. R., Calderón Robles, R. C., Ríos-Utrera, Á., Montaña Bermúdez, M., & Martínez-Velázquez, G. (2023). Efectos genéticos aditivos y no aditivos para características reproductivas en dialelo Holstein-Suizo Pardo en clima subtropical húmedo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3), 556–571. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6247>
- Gilmour, A. R. (2018). Echidna mixed models software. In *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production* (p. 995). Auckland, New Zealand. <https://www.echidnamms.org/>
- Goh, Y. M., Tay, T. S., & Lim, K. H. (2022). The potential of using temperate–tropical crossbreds and agro-industrial by-products to alleviate heat stress in tropical dairy production. *Animals*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.3390/ani12010001>
- Guerra Montenegro, R., & Menéndez-Buxadera, A. (2020). Análisis comparativo de la repetibilidad para producción de leche en ganado Holstein puro o cruzado con Brown Swiss y Jersey en la cuenca lechera de Chiriquí. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 3(1), 12–29. <https://doi.org/10.48204/j.ia.v3n1a2>
- Hernández, A., Ponce de León, R., García, S. M., García, R., Mora, M., Gutiérrez, M., & Guzmán, G. (2011). Parámetros genéticos en rasgos de la producción lechera y la longevidad de vacas

- Mambí de Cuba. *Archivos de Zootecnia*, 60(231), 513–520. <https://doi.org/10.4321/S0004-05922011000300040>
- Hernández-Zamudio, J. A., Villagómez-Cortés, J. A., Vega-Murillo, V. E., Leyva-Ovalle, O. R., Vicente-Martínez, J. G., & Ríos-Utrera, Á. (2022). Comparison of models for lactation curves of Holstein, Brown Swiss, and F1 crossbred cows under subtropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 54, Article 92. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03144-4>
- Holdridge, L. R. (1977). *Ecología basada en zonas de vida* (4.^a reimp.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://hdl.handle.net/11324/20468>
- Ministerio de Ambiente. (2019). *Estrategia Nacional Forestal 2018–2050*. Gaceta Oficial Digital de la República de Panamá, No. 28745-A. Recuperado de <https://www.gacetaoficial.gob.pa>
- Osei-Amponsah, R., Asem, E. K., & Obese, F. Y. (2020). Cattle crossbreeding for sustainable milk production in the tropics. *International Journal of Livestock Production*, 11(4), 108–113. <https://doi.org/10.5897/IJLP2020.0717>
- Pangmao, S., Thomson, P. C., & Khatkar, M. S. (2022). Genetic parameters of milk and lactation curve traits of dairy cattle from research farms in Thailand. *Animal Bioscience*, 35(10), 1499–1511. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0559>
- Romero-Zúñiga, J. J., Rojas Campos, J., Bolaños Segura, M., Castillo Badilla, G., Vargas Leitón, B., & Estrada König, S. (2019). Software VAMPP Bovino como instrumento de mediación dialógica entre el sector productivo bovino y la academia. *Universidad en Diálogo: Revista de Extensión*, 9(2), 99–116. <https://doi.org/10.15359/udre.9-2.5>
- SAS Institute Inc. (2021). *SAS/STAT® 14.3 User's Guide*. SAS Institute Inc. <https://www.sas.com>
- Sánchez, V., Zúñiga, J., Romero, J. R., & Vargas-Leitón, B. (2020). Sistemas de información para el manejo de hatos en apoyo a la investigación de poblaciones bovinas: el caso de VAMPP en las zonas de vida bosque muy húmedo montano, bosque muy húmedo premontano y bosque muy húmedo tropical de Costa Rica (1987–2018). *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 141–156. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37062>
- Shen, X., Li, C., Chen, Y., & Zhang, S. (2021). Effect of temperature and maternal age on recombination rate in cattle. *Frontiers in Genetics*, 12, 682718. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.682718>
- Singhal, S., Gomez, S. M., & Burch, C. L. (2019). Recombination drives the evolution of mutational robustness. *Current Opinion in Systems Biology*, 13, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.coisb.2018.12.003>
- Vargas-Leitón, B., & Romero-Zúñiga, J. J. (2010). Efectos genéticos aditivos y no aditivos en cruces rotacionales Holstein×Jersey y Holstein×Pardo suizo. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 223–234. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4885>

Sánchez, A., Guerra, R., Mojica, K., Menéndez-Buxadera, A.

Vargas, B., & Ulloa, J. (2008). Relación entre crecimiento y curvas de lactancia en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development*, 20(8), Article #122. <http://www.utaoundation.org/lrrd2008/varg20122.htm>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: AS, AMB; análisis e interpretación de los datos: AS, AMB, RG, KM; redacción del artículo: AS, AMB, KM, RG.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.