



Parámetros genéticos para la vida útil de vacas lecheras Holstein y Suizo Pardo en Honduras

Karen A. Copas-Medina¹ ; Manuel Valladares-Rodas¹ ; Juan J. Baeza-Rodriguez² ;
José C. Segura-Correa¹ ; Juan G. Magaña-Monforte^{1*} .

¹Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Mérida, Yucatán, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Mocochoá, Yucatán, México.

* Correspondencia: jmagana@correo.uady.mx

Recibido: Marzo 2023; Aceptado: Julio 2023; Publicado: Agosto 2023.

RESUMEN

Objetivo: Estimar heredabilidades (h^2) de edad al primer parto (AFP), longevidad (L), vida útil (UL) y productividad (P), y las correlaciones fenotípicas y genéticas (rg) entre esos caracteres en vacas Suizo Pardo (SP) y Holstein en el Noroeste de Honduras. **Materiales y métodos:** El ganado fue criado en condiciones tropicales y manejado intensivamente. El modelo para AFP incluyó el grupo contemporáneo (GC, combinación de hato, año y época de nacimiento) como fijo. Para L, UL y P, el modelo incluyó al GC, grupo de edad al primer parto y su interacción. Los datos se analizaron utilizando el procedimiento de máxima verosimilitud restringida (REML), ajustado a un modelo animal univariado y bivariado. **Resultados:** Las h^2 estimadas para AFP, L, UL y P fueron 0.16, 0.18, 0.25 y 0.09, en vacas SP; y 0.53, 0.49, 0.7 y 0.22 en H, respectivamente. Las rg fueron negativas pero favorables para las vacas SP en un rango de 0.31 a 0.46 entre AFP y los otros rasgos. Sin embargo, para las vacas H, se encontró una rg positiva entre AFP y las demás características que osciló entre 0.49 y 0.96. En ambas razas, las rg entre L, UL y P fueron positivas. **Conclusiones:** Para los rasgos evaluados, la h^2 baja a media para BS sugiere que la mejora genética sería lenta si se aplicará selección independiente esperándose una mejor respuesta para la raza H. Para ambas razas las rg positivas sugieren que se podrían utilizar criterios de selección similares para L, UL y P.

Palabras clave: Heredabilidad; correlaciones; ganado lechero; trópicos (*Fuente: CAB*).

ABSTRACT

Objective: To estimate the heritability (h^2) of age at first parturition (AFP), longevity (L), useful life (UL), and productivity (P), as well as the genetic (rg) and phenotypic correlations between those traits in Brown Swiss and Holstein cows in Northwestern Honduras. **Materials and methods:** Cattle were raised under tropical conditions and intensive management. The model for AFP assessed the effect of contemporary group (herd, year and birth season combination) as fixed. The model used for L, UL and P included the contemporary group, age group at first calving and their interaction. Data were analyzed using restricted maximum likelihood procedure, adjusted to a univariate and

Como citar (Vancouver).

Copas-Medina KA, Valladares-Rodas M, Baeza-Rodriguez JJ, Segura-Correa JC, Magaña-Monforte JG. Parámetros genéticos para la vida útil de vacas lecheras Holstein y Suizo Pardo en Honduras. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(3):e3199. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3199>



©El (los) autor (es) 2023. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

to a bivariate animal model. **Results:** The h^2 estimated for AFP, L, UL and P were 0.16, 0.18, 0.25 and 0.09, respectively, in Brown Swiss cows, and 0.53, 0.49, 0.7 and 0.22, respectively in Holstein. Negative but favorable rg among Brown Swiss cow traits ranged from 0.31 to 0.46 between AFP and the other traits. However, for Holsteins cows, positive rg among AFP and the other traits here studied varied from 0.49 to 0.96. In both cattle breeds, rg among L, UL and P, traits were positive. **Conclusions:** For all traits evaluated low to medium heritability's for BS suggest that a slow genetic improvement could be achieved if independent selection of traits is applied, and better response could be expected for H breed. For both breeds the positive rg among L, UL and P suggest that similar selection criteria could be used.

Keywords: Heritability; correlations; dairy cattle; tropics (*Source: CAB*).

INTRODUCCIÓN

La cría de las razas europea Holstein Friesian (H) y Suizo Pardo (BS) en climas tropicales rara vez ha tenido éxito (1,2). Por otro lado, la mayoría de las investigaciones sobre ganado lechero en climas tropicales se han centrado en analizar el efecto ambiental y la estimación de parámetros genéticos sobre la reproducción, la producción de leche, la duración de la lactancia y otros rasgos de producción (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10). Sin embargo, existen otros rasgos económicos importantes como la longevidad, la vida útil y la producción de leche durante toda la vida. Los estudios genéticos sobre estos rasgos podrían permitir definir metas para la vida productiva (10,11,12).

La edad de primer parto de las vacas lecheras en climas templados oscila entre 730 y 912 días, con un peso mínimo de 500 kg. Las vacas con edad temprana al parto suelen tener una vida productiva más larga, porque tienen más lactancias con mayor producción de leche que las vacas que paren a mayor edad (11,12,13).

La implementación de programas de mejoramiento genético requiere de la evaluación de razas, además de la selección entre y dentro de razas. En los últimos años, los criterios de selección, en los países desarrollados, se están centrando en varios rasgos funcionales, reduciendo la presión de selección de los rasgos tradicionales de producción y reproducción en un índice de ganancia total (13,14). Esto debido a que una mayor vida útil conlleva mayor producción y en consecuencia mayor rendimiento reproductivo y productivo.

El mejoramiento genético del ganado lechero se basa en la integración de varios rasgos (v.gr., rasgos de producción, fertilidad, vida útil y productividad) a través de un índice

de selección. La evaluación de estos rasgos requiere la estimación de la heredabilidad y las correlaciones genéticas y fenotípicas, que son un requisito previo para desarrollar índices de selección (13,14,15).

En la región de sabana de Honduras, un estudio (16) informó el efecto de factores no genéticos y la edad al primer parto sobre la longevidad y la vida útil en vacas Holstein y Pardo Suizo en Honduras. Sin embargo, hasta donde saben los autores, no hay estudios publicados sobre parámetros genéticos en Honduras que puedan respaldar la estructura de un programa de mejoramiento para las condiciones de ese país. Además, existen pocos estudios sobre parámetros genéticos de permanencia y productividad de vacas en países de América Latina (5,10,17,18). El propósito del estudio fue estimar la heredabilidad y las correlaciones fenotípicas y genéticas entre la edad al primer parto, longevidad, vida útil y productividad de vacas H y SP manejadas bajo condiciones intensivas en Honduras y sugerir algunas vías de manejo genético para mejorar los caracteres evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos. El estudio se realizó en siete fincas manejadas en condiciones intensivas en la sabana de la región Noreste de Honduras, Centroamérica. La temperatura media anual fluctúa entre 25 y 32°C, la humedad relativa entre 70 y 85% y la precipitación anual entre 1110 y 1300 mm. En esta región se distinguen dos estaciones, la seca entre enero y abril y la lluviosa entre mayo y diciembre (16). Se utilizaron datos de 1472 vacas H y 482 SP nacidas entre 1993 y 2013, mantenidas en clima tropical húmedo en la región noroeste de Honduras.

Los datos fueron recolectados a partir de una base de datos, con información sobre identificación del rebaño, animal, padre y madre, así como fecha de nacimiento, edad del primer parto, producción de leche por lactancia y época de parto o nacimiento (seca de diciembre a mayo, y lluvioso de junio a noviembre). Los datos de los grupos contemporáneos (GC) comprendieron los efectos del rebaño, año y época de nacimiento de la vaca, con al menos cuatro registros por GC. Se excluyeron los datos con más de dos desviaciones estándar.

Los rasgos estudiados fueron la edad al primer parto (AFP, días), la longevidad (L, días desde el nacimiento hasta la muerte o el sacrificio), la vida útil de la vaca (UL, días), definida como el número de días en el rebaño desde el primer parto hasta la muerte o el sacrificio. de la vaca y la productividad (P, kg) definida como la leche total producida durante la vida productiva (kg). La estructura de datos y las estadísticas básicas se presentan en la tabla 1 para las vacas lecheras Holstein y en la tabla 2 para las vacas lecheras Pardo Suizo.

Table 1. Estructura de los datos y estadística descriptive del Ganado Holstein lechero en Honduras.

Items	EPP	LG	VU	P
N. animales en A ⁻¹ *	2236	2236	2236	2236
N animales con registros	1369	1449	996	1260
N abuelas maternas	190	190	190	190
N padres	338	338	338	338
N madres	1011	1011	1011	1011
N madres con registros	572	572	525	551
Promedio del número de registros por madre	1.35	1.43	0.98	1.24
Madres con un registro	56.13%	56.13%	54.32%	55.56%
Madres con dos registros	23.22%	23.22%	27.59%	26.65%
Madres con ≥3 registros	20.65%	20.65%	18.09%	17.79%
Media ±DE	915 ±179.4	2719 ±981.6	1223 ±756.5	13967 ±5342
Coefficiente de variación	19.60%	36.10%	61.85%	38.24%
Valor mínimo /máximo	580 /1400	755 /4683	447 /3480	3300 /24842
N of hatos	3	3	3	3
Niveles de Grupos Contemporáneos	24	24	24	24

EPP= Edad al Primer Parto (días); LG= Longevidad (días); VU= Vida Útil (días); P= Productividad (Kg); A⁻¹* = Matriz inversa de relaciones del numerador

Table 2. Estructura de los datos y estadística descriptive del ganado Suizo Pardo lechero en Honduras.

Items	EPP	LG	VU	P
N. animales en A ⁻¹ *	738	738	738	738
N animales con registros	465	466	422	464
N abuelas maternas	76	76	76	76
N padres	139	139	139	139
N madres	298	298	298	298
N madres con registros	131	131	115	128
Promedio del número de registros por madre	1.56	1.56	1.41	1.55
Madres con un registro	64.88%	64.88%	66.08%	64.84%
Madres con dos registros	25.19%	25.19%	26.08%	25.78%
Madres con ≥ 3 registros	9.92%	9.92%	7.82%	9.37%
Media ± DE	1077 ±288.4	5717 ±1044	4745 ±934.1	14128 +4878
Coefficiente de variación	26.77%	18.26%	19.68%	34.53%
Valor mínimo / Máximo	556 /1600	3600 /5817	2700 /7589	4550 /24174
Numero de hatos	4	4	4	4
Niveles de Grupos Contemporáneos	31	31	31	31

EPP= Edad al Primer Parto (días); LG= Longevidad (días); VU= Vida Útil (días); P= Productividad (Kg); A⁻¹* = Matriz inversa de relaciones del numerador

Análisis estadístico. Para obtener los componentes de varianza y parámetros genéticos para AFP, L, UL y P, se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud restringida de información promedio, ajustado a un modelo animal univariado para AFP y modelo animal bivariado para los demás caracteres a través del paquete estadístico ASREML (19).

El modelo univariado utilizado para la estimación de la heredabilidad, representado en una matriz de notación fue (20):

$$y = Xb + Zu + e$$

Dónde,

y: Vector de registros para cada uno de los rasgos dependientes

X: Vector de efectos fijos asociados a la matriz de incidencia

b: Vector correspondiente a las soluciones de los efectos fijos

Z: Matriz que asoció el efecto aleatorio del animal.

u: Vector correspondiente a las soluciones por el efecto del animal

e: Vector de efectos residuales aleatorios.

Las correlaciones genéticas se obtuvieron mediante análisis bivariados de modelos animales entre rasgos, utilizando el software ASREML, utilizando el siguiente modelo:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Los subíndices 1 y 2 identificaron los rasgos a evaluar. Los términos restantes dentro del modelo fueron descritos previamente. En los análisis bivariados, se utilizaron para cada rasgo los mismos efectos fijos incluidos en el análisis.

RESULTADOS

Los componentes de la varianza y las estimaciones de heredabilidad para los rasgos de H y BS se muestran en la tabla 3. Excepto para UL, la heredabilidad fue mayor para las vacas BS que para las H. Las estimaciones del error estándar fueron altas para los datos de BS en comparación con los de H debido al bajo número de observaciones para la primera raza (Tablas 1 y 2).

Para AFP la heredabilidad estimada fue de 0.53 y 0.16 para H y BS, respectivamente. Las heredabilidades para L, UL y P fueron 0.49 y 0.18; 0.17 y 0.25; 0.22 y 0.09, respectivamente (Tabla 3).

Table 3. Componentes de varianza, estimaciones de heredabilidad (h^2) y errores estándar para edad al primer parto (AFP), longevidad (L), vida útil (UL) y productividad (P) de vacas Suizo Pardo y Holstein en Honduras.

Suizo Pardo				
Rasgos	AFP	L	UL	P
σ_g^2	9284	342400	231140	109550
σ_e^2	5722	687620	642000	720490
σ_p^2	66506	9284	873140	830040
h^2	0.16±0.13	0.18±0.11	0.25±0.13	0.09±0.11
Holstein				
σ_g^2	14228	429510	101050	167130
σ_e^2	15280	455250	460890	616320
σ_p^2	29508	884760	561930	783440
h^2	0.53±0.05	0.49±0.05	0.17±0.05	0.22±0.05

σ_g^2 =Varianza genética, σ_e^2 =Error de la varianza, σ_p^2 =Varianza fenotípica, h^2 = Heredabilidad.

Las correlaciones fenotípicas y genéticas estimadas se muestran en la Tabla 4. Las correlaciones genéticas entre todos los rasgos evaluados para las vacas H fueron positivas y fuertemente asociadas, excepto para AFP con UL y P. Sin embargo, para BS la correlación genética y fenotípica entre AFP y los otros rasgos evaluados fueron negativos (-0.32 a -0.46) y no estadísticamente significativos ($p>0.05$). Las correlaciones fenotípicas y genéticas entre L, UL y P fueron positivas y altas, especialmente las genéticas que oscilaron entre 0.79 a 1.0 y 0.64 a 0.90 para fenotípica y genética, respectivamente ($p<0.05$; Tabla 4).

Table 4. Genetic (above the diagonal) and phenotypic (below the diagonal) correlations for age at first parturition (AFP), longevity (L), useful life (UL), and productivity (P) of Brown Swiss and Holsteins in Honduras.

Brown Swiss				
Trait	AFP	L	UL	P
AFP		-0.465 ±0.432ns	-0.321 ±-0.493ns	-0.464 ±-0.583ns
L	-0.097 ±-0.052ns		0.974 ±0.301*	0.796 ±0.262*
UL	-0.131 ±-0.537ns	0.954 ±0.005**		1.094 ±0.335*
P	-0.035 ±-0.054ns	0.640 ±0.031**	0.675 ±0.030**	
Holstein				
AFP		0.894 ±0.038**	0.499 ±0.154**	0.683 ±0.116**
L	0.567 ±0.020**		0.952 ±0.019**	0.938 ±0.042**
UL	0.105 ±0.035ns	0.904 ±0.006**		0.960 ±0.034**
P	0.126 ±0.031ns	0.784 ±0.011**	0.843 ±0.009**	

*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ns=not statistically significant

DISCUSIÓN

La importancia de la AFP radica en que determina el momento en que una vaca inicia su vida productiva y su asociación con la longevidad y vida útil. Para las vacas H, la heredabilidad estimada (0.53 ± 0.13) es mayor que otros reportes en los trópicos, como 0.05 y 0.38 en Kenia (2,3), 0.31 en Brasil (21), 0.13 a 0.19 en Brasil y Colombia (22), y en otros climas, 0.33-0.36 (10,23).

Por otro lado, para la raza BS, hay muy poca información en la literatura sobre la heredabilidad de la AFP. En el trópico mexicano se han reportado valores de 0.28 (4) y 0.08 (24)

para poblaciones de BS americanas y europeas, respectivamente.

Una heredabilidad mayor que cero para la AFP en H (0.53 ± 0.13) pero no para el ganado BS debido a su alto error estándar (0.16 ± 0.13) podría sugerir una oportunidad para mejorar la fertilidad de las novillas de la primera raza, aquí estudiada, en condiciones de sistemas intensivos. en los trópicos de Honduras.

En relación con L, las heredabilidades estimadas en este estudio en vacas H y BS (0.49 ± 0.05 y 0.18 ± 0.11 , respectivamente) fueron mayores que las reportadas (0.02) en H (25), en condiciones de trópico subhúmedo. Además, algunos autores informaron valores de 0.18 en Egipto (26) y de 0.06 en Brasil (27). Hay pocas estimaciones disponibles sobre la longevidad de la raza BS. Un estudio realizado en Italia informó una heredabilidad de 0.04 (28). Algunos investigadores han recomendado utilizar todos los registros del rebaño, incluidos los de las vacas que permanecen en el rebaño (datos censurados) y estimar la heredabilidad para generaciones futuras, ya que este rasgo se mide después de la producción de leche (25,29).

Para el carácter vida útil, la heredabilidad fue de 0.17 ± 0.05 y 0.25 ± 0.13 en H y BS, respectivamente. Estas estimaciones son inferiores al valor de 0.34 obtenido en hatos de vacas BS y H en los subtrópicos de México (30). Sin embargo, también en México, Abadía-Rojas et al (31) reportaron una heredabilidad de 0.16 para H. Además, en Egipto se reportó un valor similar de 0.18 (26), un valor menor de 0.9 en Brasil (32), 0.048 - 0.074 en España (33) y 0.05 en Cuba (34). Para las estimaciones de BS en Italia se informaron valores de 0.04 a 0.06 (35), 0.14 (36) y 0.4 (28). La vida útil de las vacas en el rebaño es una característica productiva, que repercute en el manejo del rebaño. Las vacas en condiciones de manejo alto y medio, y niveles de producción de leche altos y medios tuvieron menores tasas de supervivencia que aquellos rebaños con niveles tecnológicos y de producción bajos, debido a una mayor presión para mejorar la producción de leche y en consecuencia a una fuerte tasa de sacrificio de animales menos productivos (37). Esto difiere de los resultados actuales, ya que uno de los principales factores que disminuyeron los UL fue la no implementación de programas reproductivos sólidos, que resultan en intervalos entre partos prolongados, y con este alto nivel

de sacrificio o venta de vacas en producción a seguir produciendo en otros rebaños.

Para la productividad, la heredabilidad en H fue de 0.22 ± 0.05 , superior a la estimada para BS 0.09 ± 0.13 . Para H, se informan varias estimaciones de heredabilidad, como 0.25 en México (31), 0.05 en Brasil (27) y 0.10 en Cuba en vacas Mambi (3/4 Holstein, 1/4 Cebú; 34). Para BS, en México y en condiciones de pastoreo se reportó una heredabilidad de 0.25 (30). Las diferencias entre la heredabilidad para la productividad con respecto a los otros estudios probablemente se deben a la estructura de los datos, el número de observaciones entre las bases de datos y las condiciones ambientales entre los rebaños, así como las condiciones raciales y de manejo.

Las altas correlaciones genéticas positivas de AFP con L, pero no para UL y P para H sugieren que la base genética de las vacas que paren por primera vez a una edad mayor no influye en UL y P, por lo que no presenta ninguna ventaja de ser mayores y más maduros al primer parto. A pesar de que un mayor grado de madurez en el primer parto también podría llevar a que las vacas permanezcan más tiempo y produzcan más leche durante su vida productiva. Estos resultados sugieren que tanto el ambiente como la base genética de esta población no están orientados a la precocidad reproductiva de la raza debido a que la AFP fue mayor a 912 días. Para BS cuya AFP fue de alrededor de 3 años, la correlación genética y fenotípica de AFP con los otros rasgos aquí evaluados fue negativa pero no estadísticamente significativa (-0.32 a -0.42) y sugiere que las vacas con mejores valores genéticos de AFP son vacas con genes que no afectaron la longevidad, UL y P. Hay muy poca información sobre las correlaciones entre estos rasgos en la raza Pardo Suizo y, por lo tanto, se compararon con los resultados para Holstein. En Irán, se informó una correlación genética negativa de -0.39 entre AFP y P en vacas Holstein (23). En Kenia et al (3) informaron que las vacas de mayor edad en el primer parto tenían un menor volumen de producción de leche acumulada durante las tres primeras lactancias. Es importante considerar estas correlaciones, ya que todas son económicamente importantes para mejorar el desempeño productivo del rebaño; en consecuencia, el correcto manejo de la edad de las vacas para tener su primer parto, redundará en una vida más larga con más lactancias y mayor producción total de leche.

Las altas y positivas correlaciones fenotípicas y genéticas entre la longevidad, UL y la productividad oscilaron entre 0.79 y 1.0 y entre 0.64 y 0.90 para H y BS, respectivamente. Las vacas con valores genéticos favorables para una mayor longevidad también tienen valores genéticos más altos, tanto para vida útil como para productividad durante su estancia en el rebaño. Otros autores han informado una asociación positiva entre estos rasgos con una clasificación entre 0.31 y 0.96 para Holstein o Pardo Suizo (26,36,37,38). Sin embargo, también se reportan correlaciones genéticas negativas como -0.25 para Holstein en Brasil (27) y -0.02 y -0.13 para Pardo Suizo (28,36,39). Esta asociación negativa reportada indica que las vacas con alto potencial genético aumentan la probabilidad de ser descartadas temprano en la vida, como se ha sugerido (40).

En conclusión, la AFP, la longevidad, el UL y la productividad de la raza Suizo Pardo muestran una heredabilidad baja a moderada, lo que indica que se podría lograr una mejora lenta si se aplica una selección independiente en estos rasgos. Sin embargo, se espera que la selección mejore aún más los rasgos de la raza H debido a sus estimaciones de heredabilidad de moderada a alta. La correlación genética negativa y positiva no significativa de AFC con los rasgos de vida indica que en el ganado Pardo Suizo y Holstein,

la selección por precocidad no podría mejorar la longevidad, el UL y la productividad. Sin embargo, en ambas razas las correlaciones genéticas positivas entre L, UL y P pueden mejorarse mediante selección y, por lo tanto, podrían aplicarse criterios similares.

Conflicto de intereses

No se declara ningún conflicto de intereses por parte de los autores.

Agradecimientos

Al CONACyT por la beca otorgada para la realización de estudios de Postgrado para el primer autor y a los rancheros de Honduras por la base de datos otorgada para este estudio.

Declaración de derechos de los animales

Para el estudio se utilizaron bases de datos y no se manipularon animales.

Financiación

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca de estudios de posgrado otorgada al primer autor.

REFERENCIAS

1. Madalena FE. How suitable are the breeding programs of the global main stream dairy breeds? The Latin-American situation. *Livestock Research for Rural Development*, 2008; 20:Article19. <http://www.lrrd.org/lrrd20/2/mada2008.htm>
2. Wahinya PK, Swan AA, van der Werf JHJ. Breeding objective for dairy cattle under low, medium and high production systems in the tropics. *Animal*. 2023; 16:100513. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100513>
3. Ojango JM, Pollott P. E. Genetics of milk yield and fertility traits and Holstein- Friesian cattle on large-scale Kenyan farms. *J Anim Sci*. 2001; 79(7):1742-1750. <https://doi.org/10.2527/2001.7971742x>
4. Estrada-León R, Magaña J, Segura JC. Genetic Parameters for Reproductive Traits of Brown Swiss Cows in the Tropics of Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2008; 7(2):124-129. <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jaava.2008.124.129>
5. Restrepo G, Pizarro EJ, Quijano JH. Índices de selección y niveles independientes de descarte para dos características productivas y reproductivas en un hato Holstein (*Bos taurus*). *Rev Colomb Cienc Pecu*. 2008; 21(2):239-250. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324285/20781458>

6. Ríos-Utrera A, Calderón-Robles RC, Rosete-Fernández JV, Lagunes-Lagunes J. Estimation of genetic parameters for fertility traits in Brown Swiss cattle under tropical conditions of Mexico. *Vet Mex*. 2010a; 41(2):117-129. <https://veterinariamexico.fmvz.unam.mx/index.php/vet/article/view/257/257>
7. Ríos-Utrera A, Calderón-Robles RC, Rosete-Fernández JV and Lagunes-Lagunes J. Correlación genética y fenotípica entre caracteres reproductivos de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*. 2010; 21(2):235-244. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/11835/11155>
8. Zambrano JC, Echeverry J. Genetic and environmental variance and covariance parameters for some reproductive traits of Holstein and Jersey cattle in Antioquia, Colombia. *R Bras Zootec*. 2014; 43(3):132-139. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000300005>
9. Bauban S, Duangjinda M, Susuki M, Masuda Y, Zapote J, Kuchida K. 2015. Short Communication: Genetic analysis of fertility traits of heifers and cows from smallholder dairy farms in a tropical environment. *J Dairy Sci*. 2015; 98(7):4990-4998. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8866>
10. Ruiz-Sánchez R, Blake RW, Castro-Gamez HM, Sánchez F, Montaldo HH and Castillo-Juárez H Short communication: Changes in the association between milk yield and age at first calving in Holstein cows with herd environment level for milk yield. *J Dairy Sci*. 2007; 90(10):4830-4834. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0156>
11. Haworth GM, Trantor WP, Chuck JN, Cheng Z, Waters DC. Relationship between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows. *Vet Record*. 2008; 162(20):643-647. <http://dx.doi.org/10.1136/vr.162.20.643>
12. Quiroz K, Carmona C, Echeverri JJ. Parámetros Genéticos para Algunas Características Productivas y Reproductivas en un Hato Holstein del Oriente Antioqueño, Colombia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. 2011; 64(2):6199-6206. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29408/29623>
13. Cole JB, vanRaden PM. Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices. *J Dairy Sci*. 2018; 101(4):3686-3701. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13335>
14. Tsuruta S, Misztal L, Lawlor TJ. Changing the definition of productive life in US Holsteins: effect on genetic correlations. *J Dairy Sci*. 2005; 88(3):1156-1165. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72782-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72782-X)
15. Rincón J, Zambrano J, Echeverri J. Estimation of genetic and phenotypic parameters for production traits in Holstein and Jersey from Colombia. *Rev MVZ Córdoba*. 2015; 20(Supl):4962-4973. <https://doi.org/10.21897/rmvz.11>
16. Copas-Medina KA, Valladares-Rodas M, Baeza-Rodríguez JJ, Magaña-Monforte JG, Segura-Correa JC. Effect of early age at first calving on longevity, number of days in production and lifetime milk yield of Holstein and Brown Swiss dairy cattle cows in Honduras. *Rev Mex Cienc Pecu*. 2022; 13(1):163-174. <https://doi.org/10.22319/rmc.p.v13i1.5444>
17. Cardoso VL, Lima MLP, Nogueira JR, Resende de Carneiro RL, Sesana RC, Oliveira EJ, El Faro L. Economic values for milk production and quality traits in south and southeast regions of Brazil. *R Bras Zootec*. 2014; 43(12):636-642. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014001200002>
18. Valencia-Posadas M, Ruiz FJ, Montaldo VH. Estimación de parámetros genéticos para características de longevidad y producción de leche en el Ganado Holstein de México. *Interciencia*. 2004; 29(1):52-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908811>
19. Gilmour, AR., Gogel, BJ., Cullis, BR, Thompson, R. ASReml User Guide Release 3.0 VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK; 2009. <https://asreml.kb.vsnl.co.uk/wp-content/uploads/sites/3/2018/02/ASReml-3-User-Guide.pdf>

20. Henderson CR. Application for linear models in animal breeding. University of Guelph Press: Canada; 1984. <https://www.ancp.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/02/Livro-Applications-of-Linear-Models-in-Animal-Breeding.pdf>
21. Grossi SF, Freitas MA. Reproductive and productive efficiency in commercial dairy herds monitored by information system. R Bras Zootec. 2002; 31(3 suppl): 1362-1368. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000600006>
22. Cerón-Muñoz MF, Tonhati H, Costa CN, Maldonado-Estrada J, Rojas-Sarmiento D. Genotype x Environmental interaction for age at first calving in Brazilian and Colombian Holsteins. J Dairy Sci. 2004; 87(8):2455-2458. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73369-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73369-X)
23. Hossein-Zadeh NG. Estimation of genetic and phenotypic relationships between age at first calving and productive performance in Iranian Holsteins. Trop Anim Health Prod. 2011; 43(5): 967-973. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9791-7>
24. Segura-Correa JC, Chin-Colli RC, Magaña-Monforte JG, Nuñez-Domínguez R. Genetic parameters for birth weight, weaning weight and age at first calving in Brown Swiss cattle in Mexico. Trop Anim Health Prod. 2012; 44(2):337-341. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0026-8>
25. Terkeli M, Ko-ak S. Relationship between production and fertility traits in first lactation and lifetime performances of Holstein cows under subtropical conditions. Arciv Tierzucht. 2009. 52(4):364-370. <https://doi.org/10.5194/aab-52-364-2009>
26. Abou-Bakr S. Genetic and phenotypic parameters of some lifetime and longevity traits in Holstein cows of commercial farm in Egypt. Egyptian J. Anim. Prod. 2009; 46 (1): 11-18. <https://doi.org/10.21608/EJAP.2009.94017>
27. Kern E, Araujo J, Napolis C, McManus C, Braccini N. Genetic association between longevity and linear type traits of Holstein cows. Sci. agric. 2015; 72(3):203-209. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0007>
28. Samoré A, Rizzi R, Rosoni A, Bagnato A. Genetic parameters for functional longevity, type traits, somatic cell scores, milk flow and production in the Italian Brown Swiss. Ital J Animal Sci. 2010; 9:144-152. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.4081/ijas.2010.e28?needAccess=true&role=button>
29. Vollema AR, Groen AF. Genetic parameters of longevity traits of an upgrading population of dairy cattle. J Dairy Sci. 1996; 79(12): 2261-2267. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76603-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76603-1)
30. Ríos-Utrera A, Calderón-Robles R, Galavíz-Rodríguez J, Vega-Murillo VE, Lagunes-Lagunes J. Análisis genético de la producción láctea de vacas Holstein y Pardo Suizo en pastoreo intensivo en condiciones subtropicales. Revista Científica FCV-LUZ. 2012; XXII(6):545-552. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15748/15721>
31. Abadía-Rojas JR, Ruíz-López FJ, Vega-Murillo VE, Montaldo HH. Genetic analysis of productive life in Holstein cattle in Mexico. Rev Mex Cienc Pecu. 2016; 7(1):1-14. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i1.4146>
32. Stefani G, El Faro L, Santana Júnior ML, Tonhati H. Association for longevity with type traits, milk yield and udder health in Holstein cows. Livestock Sci. 2018; 218:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.10.007>
33. Chirinos Z, Carabaño M, Hernández D. Genetic evaluation of length of productive life in the Spanish Holstein-Friesian population. Model validation and genetic parameters estimation. Livestock Science. 2007; 106(2-3):120-131. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.07.006>

34. Hernández A, Ponce de León R, García S, García R, Gúzman G, Mora M, Gutiérrez M. Heredabilidades en rasgos de longevidad en vacas Mambí de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2008; 42(2):141-147. <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193022260003.pdf>
35. Cassandro M, Ghioldi S, Bagnato A, Gallo L, Carnier P, Santus, E. Genetic evaluation of longevity in Italian Brown Cattle Breed. *Proc. Int. Workshop on EU Concerted Action Genetic Improvement of Functional Traits (GIFT)*, Jouy-en Josas, France. 1999; 21: 73-81. <https://journal.interbull.org/index.php/ib/article/view/634/634>
36. Bonetti D, Rossoni A, Nicoletti C. Genetic parameters estimation and genetic evaluation for longevity in Italian Brown Swiss bulls. *Ital J Anim Sci*. 2009; 8(Sup2):30-32. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s2.30>
37. Irano N, Bignardi AB, El Faro L, Santana Jr ML, Cardoso VL, Albuquerque LG. Genetic association between milk yield, stayability, and mastitis in Holstein cows under tropical conditions. *Trop Anim Health Prod*. 2014; 46(3):529-535. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0524-y>
38. Hernández A, Ponce de León R, García S, García R, Gúzman G, Mora M, Gutiérrez M. Parámetros genéticos en rasgos de la producción lechera y la longevidad de vacas Mambí de Cuba. *Archivos de Zootecnia*. 2011; 60(231):513-520. <https://doi.org/10.21071/az.v60i231.4509>
39. Jenko J, Perpar T, Kovac M. Genetic relationship between the lifetime milk production, longevity and first lactation milk yield in Slovenian Brown cattle breed. *Mljekarstvo*. 2015; 65(2):111-120. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2015.0205>
40. Ontenacu PA, Brown DM. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*. 2010; 19(S1):39-49. <https://doi.org/10.1017/S0962728600002220>