





**Genética y mejoramiento animal**

Artículo de investigación científica y tecnológica

**Tendencia genética y fenotípica de la producción de leche: caso de un estable comercial del valle de Huaura, Perú**

---

 Yaneline Nilda Hidalgo Vasquez<sup>1\*</sup>,  María Elisa Catalina García Salas<sup>1</sup>,  
 Gustavo Augusto Gutiérrez Reynoso<sup>1</sup>,  Néstor Humberto Chagray Ameri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú.

\*Autor de correspondencia: Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n - La Molina. Lima, Perú.  
yanihiva@gmail.com

*Editor temático:* Sonia Daryuby Ospina Hernández (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]).

Recibido: 27 de marzo de 2020

Aprobado: 25 de agosto de 2020

Publicado: 27 de marzo de 2021

*Para citar este artículo:* Hidalgo Vasquez, Y. N., García Salas, M. E.C., Gutiérrez Reynoso, G. A., & Chagray Ameri, N. H. (2021). Tendencia genética y fenotípica de la producción de leche: caso de un estable comercial del valle de Huaura, Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), e1892. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1892](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1892)



## Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la tendencia genética y fenotípica de la producción de leche (PL) de vacas Holstein de un establo del valle de Huaura, Perú. Se evaluaron 2.590 hembras (vacas y terneras) para el cálculo de los valores genéticos estimados (VGE) y 2.862 lactaciones estandarizadas a 305 días y dos ordeños diarios, del primer al quinto parto de 1.892 vacas del periodo 1999-2017, mediante un modelo animal de medidas repetidas. Con el *software* ASReml, se estimó una heredabilidad ( $h^2$ ) de 0,16 (error estándar 0,03) y una repetibilidad ( $r$ ) de 0,28 (0,025). Las tendencias se estimaron mediante regresión lineal usando el paquete estadístico SAS v.9.4. Los VGE para la PL de las vacas y terneras tienen una media de +200,9 (16,1) kg y +148,7 (9,7) kg, respectivamente, con más del 70 % de valores positivos. La tendencia genética para PL de las hembras fue -2,4 (2,1) kg/año. Se estimó una tendencia fenotípica para PL de +294,3 (24,9) kg/año. Se concluye que la tendencia fenotípica es favorable debido a mejoras en aspectos no genéticos, ya que la  $h^2$  indica que la PL está influenciada principalmente por el ambiente y, en menor medida, por la varianza genética aditiva del carácter. La tendencia genética para la PL de hembras fue negativa. Sin embargo, los VGE para PL de las hembras vivas sugieren que a futuro, el establo puede incrementar la tendencia genética para PL.

**Palabras clave:** genética animal, mejoramiento animal, tendencia fenotípica, tendencia genética, varianza genética

## Genetic and phenotypic trend of milk production: the case of a commercial herd in the Huaura Valley, Peru

### Abstract

The aim of this research was to determine the genetic and phenotypic trends for milk production (MP) of Holstein cows from a commercial herd in the Huaura Valley, Peru. A total of 2,590 females (cows and calves) were evaluated to calculate the estimated breeding values (EBV) and 2,862 standardized lactations at 305 days and two daily milkings, from the first to the fifth calving of 1,892 cows from 1999 to 2017, using a repeated-measures animal model. A heritability ( $h^2$ ) of 0.16 (standard error 0.03) and repeatability ( $r$ ) of 0.28 (0.025) were estimated with the ASReml software. The trends were estimated by linear regression using the SAS statistical package v.9.4. The EBV for MP of the cows and calves had an average of +200.9 (16.1) kg and +148.7 (9.7) kg, respectively, with more than 70 % positive values among living animals. The genetic trend for female MP was -2.4 (2.1) kg/year. A phenotypic trend for MP of +294.3 (24.9) kg/year was estimated. It is concluded that the phenotypic trend is favorable due to improvements in non-genetic aspects, since  $h^2$  indicates that MP is mainly influenced by environmental variance and, to a lesser extent, by the additive genetic variance of the trait. The genetic trend for female MP was negative. However, the EBV for MP of living females suggests that in the future, the herd may increase the genetic trend for MP.

**Keywords:** animal breeding, animal genetics, genetic trend, genetic variance, phenotypic trend

## Introducción

En el 2017, en el Perú se produjeron más de 2 toneladas de leche de vaca, representando un incremento de 3 % comparado con el 2016 (Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA], 2017). Este aumento en los niveles de producción de leche nacional se debe a una mayor producción de los distintos departamentos. La producción de leche está influenciada por factores ambientales y genéticos, siendo el factor genético el único que se puede transmitir de padres a hijos (Amorim, 2006). Es así como el valor genético es la estimación más recomendable para la selección de animales como futuros reproductores. Missanjo et al. (2012) señalaron que el comportamiento de los valores medios por año define una tendencia genética que ayudará a establecer la dirección genética futura del hato, por lo que es importante realizar un análisis de la tendencia fenotípica y genética del carácter deseado para conocer el comportamiento de los valores genéticos y fenotípicos a través del tiempo.

En el Perú, las evaluaciones genéticas poblacionales para ganado Holstein se implementaron en el 2016; según Gutiérrez et al. (2016), dichas evaluaciones se harían cada seis meses con la finalidad de que esta información sea utilizada por los ganaderos para la mejora del ganado. Sin embargo, hasta la fecha no hay información acerca de nuevas evaluaciones, por lo que es necesario que se realicen trabajos para que los establos conozcan el valor genético de sus animales. Esto sería beneficioso para el Perú, ya que los establos podrían hacer una mejor selección de sus reproductores, además de proporcionar machos al Banco Nacional de Semen. Esta investigación tuvo como objetivo determinar las tendencias genética y fenotípica para la producción de leche de vacas Holstein durante el periodo 1999 al 2017 en un establo del valle de Huaura, a partir de los valores genéticos estimados utilizando un modelo animal de medidas repetidas.

## Materiales y métodos

Se emplearon los registros de vacas Holstein procedentes del establo Granados ubicado en el valle de Huaura, de la región Lima Provincias (Perú), sobre los 30 m s.n.m., con una temperatura promedio anual de 19,1 °C y un clima de tipo desértico. Los veranos son calurosos y bochornosos, con temperaturas entre los 18 °C y 28 °C y una humedad de 88 %. A 2017, según el Servicio Oficial de Productividad Lechera (SOPL), este establo contó con 532 vacas en total, de las cuales el 86 % está en ordeño (460 vacas), un promedio de producción diario general de 30,1 kg/día y con 34,8 kg/día como promedio de producción de vacas en ordeño, realizando un total de tres ordeños por día. El sistema de crianza es de tipo intensivo completo, con una alimentación basada en una ración integral (RTM), usando maíz y ensilado de maíz como fuente de forraje. En cuanto al manejo reproductivo, en la actualidad se realiza inseminación artificial utilizando en su totalidad semen importado de distintas casas comerciales.

Los registros utilizados contenían la información productiva proporcionada dos veces al mes por el SOPL de la Cuenca de Lima, del Programa de Mejoramiento Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Se recolectó información del número de arete de la vaca, fecha de nacimiento, registro

genealógico del padre y arete de la madre, número de parto, fecha de parto, y producción de leche estandarizada a los 305 días y dos ordeños. De la base de datos del Council on Dairy Cattle Breeding (CDCB) y de los certificados de registro genealógico de la Asociación Holstein del Perú, se recolectaron el nombre completo y registro genealógico de la raza Holstein y país de origen de los toros importados, así como sus antepasados (padre y madre) y fecha de nacimiento. Para la estimación de los valores genéticos, se utilizó un modelo animal con medidas repetidas (Henderson, 1988), cuyo modelo matricial se representa en la ecuación 1.

$$Y = X\beta + Zu + Wpe + e \tag{Ecuación 1}$$

Donde  $Y$  es el vector de observaciones de producción de leche a 305 días de diferentes partos;  $\beta$  es el vector de los efectos fijos con incidencia en la matriz  $X$ , que contiene el efecto del año-estación de parto con 75 niveles diferentes (4 estaciones por cada año desde 1999 al 2017), efecto del número de parto con 5 niveles (primer a quinto parto) y efecto de la edad al parto como covariable lineal y cuadrática;  $u = \sim N(0, \sigma_u^2 A)$ , que es el vector de efectos aleatorios genéticos aditivos de todos los animales de la población (machos y hembras) con incidencia en la matriz  $Z$ , y contiene 3.404 niveles;  $pe = \sim N(0, I_c \sigma_{pe}^2)$ , que es el vector del efecto del ambiente permanente (de las vacas con registro de producción de leche) con incidencia en la matriz  $W$ , y contiene 1.892 niveles;  $e = N(0, I_n \sigma_e^2)$ , que es el vector de los efectos residuales aleatorios;  $X$ ,  $Z$  y  $W$ , que son las matrices de diseño o de incidencia que relacionan los efectos fijos, aleatorios y del ambiente permanente con los datos, respectivamente.

Las esperanzas y varianzas del modelo se presentan en la ecuación 2.

$$E \begin{pmatrix} Y \\ u \\ pe \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Var} \begin{pmatrix} u \\ pe \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A\sigma_u^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_c\sigma_{pe}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I_n\sigma_e^2 \end{pmatrix} \tag{Ecuación 2}$$

Donde  $\sigma_u^2$  es la varianza genética aditiva;  $\sigma_{pe}^2$  es la varianza del ambiente permanente;  $\sigma_e^2$  es la varianza residual;  $A$  es la matriz de relaciones de parentesco;  $I_c$  e  $I_n$  son las matrices de identidad de orden igual al número de ganado y número de datos, respectivamente.

La genealogía estuvo compuesta por un total de 3.404 individuos, con un total de 2.969 hembras y 435 machos nacidos durante el periodo 1948-2017. Esta incluyó a todos los animales presentes en la base de datos, tuvieran o no registros (ancestros, vacas, toros y progenie). De todas las hembras, 2.590 fueron hijas nacidas en el establo, y solo 1.892 de ellas tuvieron registros de producción de leche (2.862 lactaciones estandarizadas a 305 días y dos ordeños).

La ecuación 3 muestra el modelo mixto para el modelo animal de medidas repetidas, en forma matricial.

$$\begin{pmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ ZX & ZZ + A^{-1}\sigma_e^2/\sigma_u^2 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I_c\sigma_e^2/\sigma_{pe}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \\ \hat{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'Y \\ Z'Y \\ W'Y \end{pmatrix}$$

Ecuación 3

Los predictores del BLUP (Mejor predictor lineal insesgado) para efectos aleatorios y estimadores del BLUE (Mejor estimador lineal insesgado) para efectos fijos son obtenidos al resolver este sistema de ecuaciones (Gutiérrez, 2010). Para la estimación de los componentes de varianza y valores genéticos, se utilizó el *software* ASReml. Gilmour et al. (2015) indicaron que ASReml es un *software* estadístico que se ajusta a los modelos mixtos lineales utilizando la máxima verosimilitud restringida (REML). Las tendencias fueron determinadas mediante el análisis de regresión del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.4, utilizando el procedimiento PROC REG. Los gráficos de las tendencias fueron obtenidos utilizando Microsoft Excel 2013. Para la tendencia genética se utilizaron los promedios de los VGE por año de nacimiento; la tendencia fenotípica se estimó mediante la media de los registros de producción de leche ajustados a 305 días por el año de parto.

## Resultados y discusión

### Evaluación genética de la producción de leche

En la tabla 1 se muestran los componentes de varianza estimados con el *software* ASReml, para la producción de leche por lactancia a 305 días, del ganado Holstein del establo Granados.

**Tabla 1.** Componentes de varianza (expresados como proporción de la varianza fenotípica) para la producción de leche por lactancia a 305 días, del ganado Holstein en el establo Granados, Perú.

Variable	Proporción de la varianza fenotípica		
	Ambiente permanente	Genética aditiva	Residual
Producción de leche a 305 días	0,12	0,16	0,72

Fuente: Elaboración propia

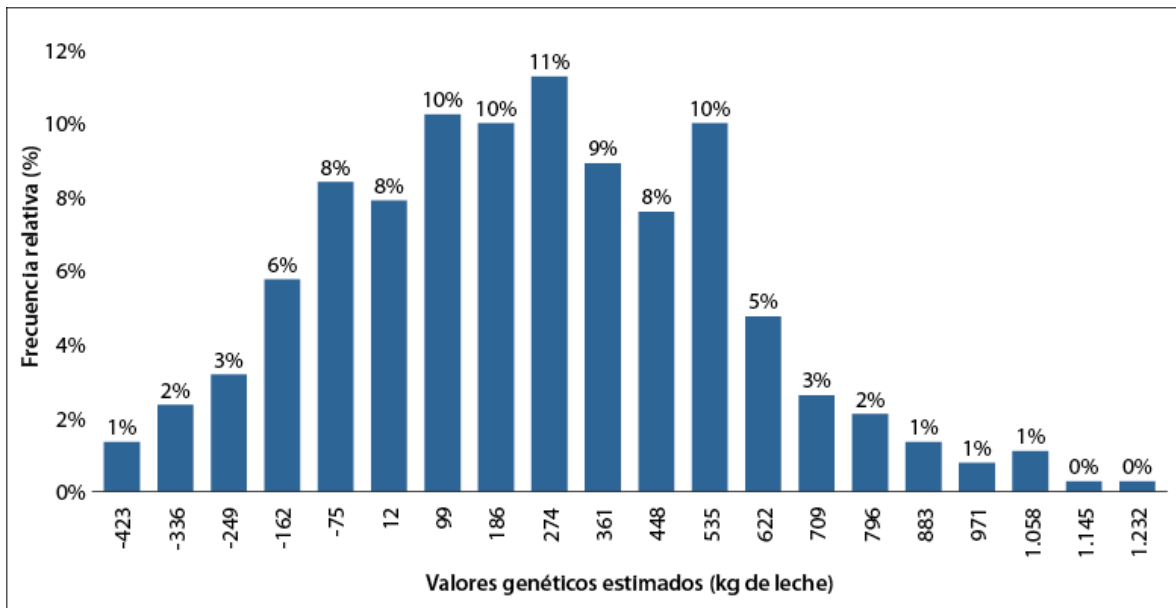
La heredabilidad ( $h^2$ ) estimada para PL en el establo Granados fue 0,16 con un error estándar (e.e.) de 0,03, lo que significa que el 16 % de la variación de la producción de leche se debe a la variación genética aditiva y el resto (84 %), a la variación genética de dominancia, epistática y varianza del ambiente. Falconer y Mackay (1996) informaron que la  $h^2$  expresa el grado en el que los fenotipos están determinados por los genes transmitidos por sus padres. Este valor resulta inferior a lo referido por Arango y Echeverri (2014), Galeano y Manrique (2010) y Palacios et al. (2001), que obtuvieron para la misma característica

valores de  $h^2$  de 0,19 (0,00), 0,35 (0,06) y 0,26 (0,09), respectivamente. González et al. (2009) estimaron una  $h^2$  de 0,14 (0,02), utilizando ASReml, e indicaron que se obtienen valores mayores usando los métodos de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas (DFREML) y bayesiano. Sin embargo, la  $h^2$  obtenida en este estudio es similar a lo reportado por Corrales et al. (2011) y Hernández et al. (2011) con valores de 0,17 (0,00) y 0,15 (0,01), utilizando el DFREML y ASReml, respectivamente.

La repetibilidad ( $r$ ) estimada fue de 0,28 (e.e. 0,025), lo que indica que el 28 % de la variación en la PL se debe al efecto de la genética y del ambiente permanente, y un 72 %, al ambiente temporal. Este valor fue inferior comparado con lo obtenido por Galeano y Manrique (2010) y Hernández et al. (2011), quienes reportaron valores mayores a 0,40. Los valores bajos de estos parámetros pueden deberse a la poca información productiva registrada por animal y la falta de ajuste antes de aplicar el modelo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que tanto la heredabilidad como repetibilidad no son parámetros universales, es decir, dependen de la población, debido a que tanto la varianza de efectos genéticos aditivos como no aditivos y de la varianza del medio ambiente es específico para cada población (Quijano & Echeverri, 2015).

### **Valores genéticos estimados de hembras**

De las 2.590 hembras evaluadas del establo Granados se mantienen vivas actualmente solo 755, de las cuales 381 (50,5 %) son vacas con más de una lactancia y 374 (49,5 %) son animales jóvenes. Los valores genéticos estimados (VGE) para las vacas vivas tienen un promedio de +200,9 (e.e. 16,1 kg), con un valor mínimo de -510,6 y un valor máximo de +1190; además, el 72 % de animales tienen valores positivos. El promedio de la exactitud para los VGE fue de 33 %, variando desde 10 % a 51 %, debido a la variación en la cantidad de datos de producción de leche y genealógica por vaca (Vargas & Gamboa, 2008). Una alternativa que permite mejorar la exactitud de la evaluación genética es usar modelos test-Day, ya que se utilizan datos individuales por día y no por el total de la lactancia (Kaygisiz, 2013). En la figura 1 se muestra la frecuencia relativa de las vacas vivas según sus VGE, donde el 25 % de ellas tienen valores para la producción de leche menor o igual a -27,02; el 50 % menor o igual a +197,4, y un 75 % menor o igual a +426,4.

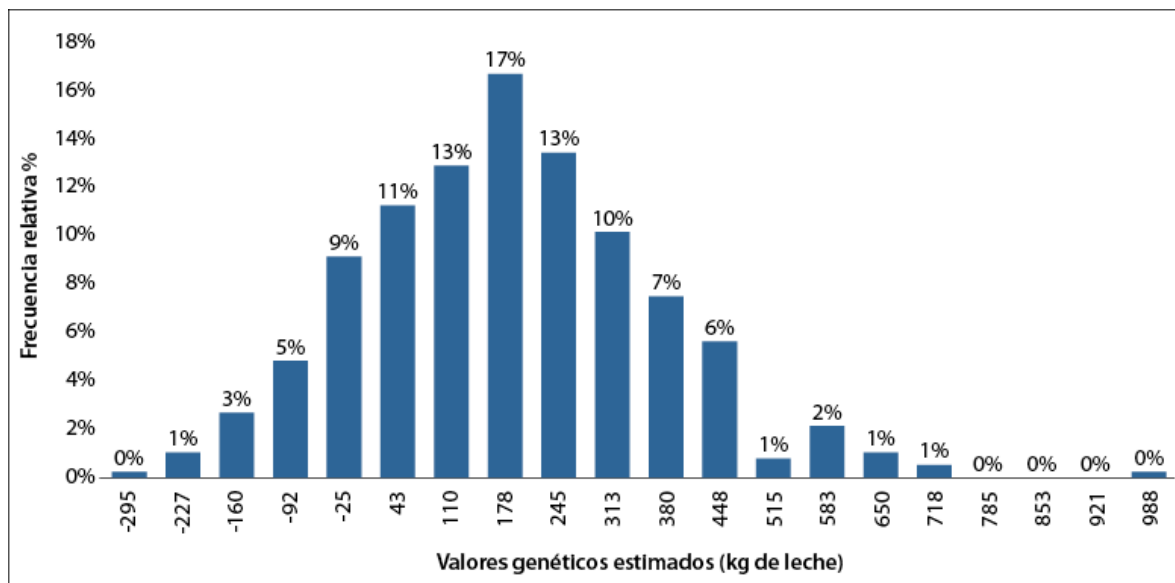


**Figura 1.** Frecuencia relativa de las vacas vivas según sus valores genéticos estimados.

Fuente: Elaboración propia

Los VGE estimados para las terneras vivas tienen un promedio de +148,7 (e.e. 9,7 kg), con un valor mínimo de -362,5 y un valor máximo de +943,4. De las 374 hembras jóvenes, el 78 % de animales tienen valores positivos; en la figura 2 se muestra la frecuencia relativa de las terneras vivas según VGE, donde el 25 % de ellas tienen valores para la producción de leche menor o igual a +22,04, el 50 % menor o igual a +139,5 y un 75 % menor o igual a +263,9. Se observa un mayor porcentaje de animales con valores genéticos positivos en los últimos años, lo que indica la presencia de hembras jóvenes que son disponibles para ser seleccionadas.



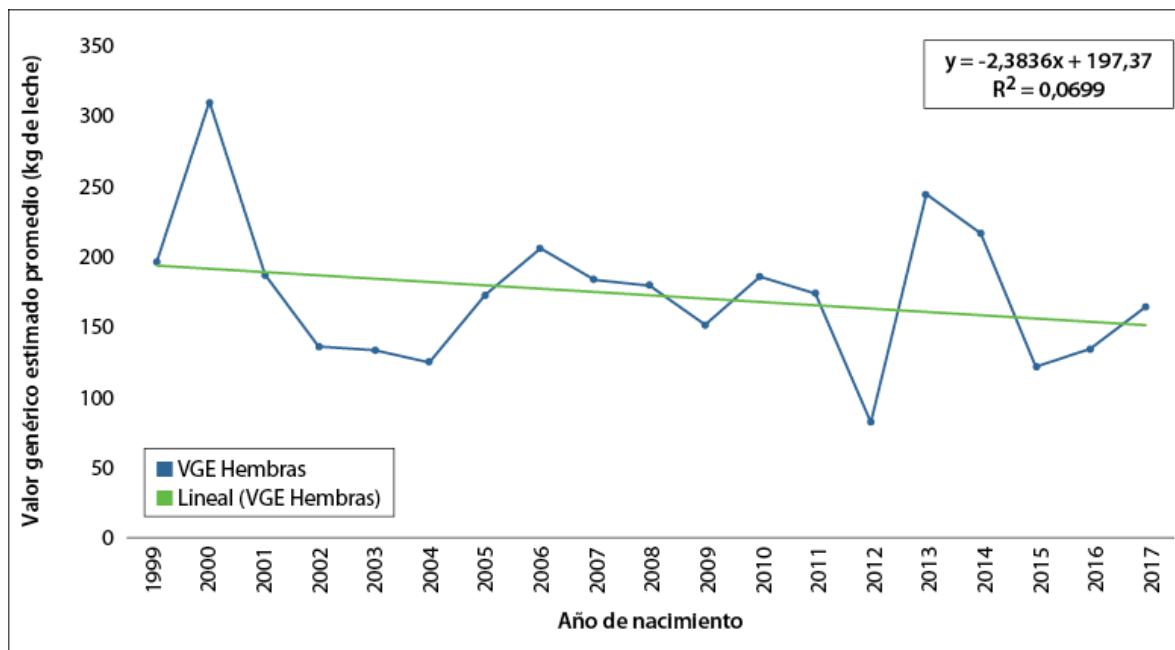


**Figura 2.** Frecuencia relativa de las terneras vivas según sus valores genéticos estimados.

Fuente: Elaboración propia

Los VGE de las vacas del establo Granados han pasado de un promedio de +197 kg de leche en el 1999 a uno de +164 kg en el 2017, teniendo un cambio de media de -33 kg en este periodo de 18 años. Los VGE para PL de las vacas han tenido un descenso anual, estimado por regresión, de -2,4 kg/año (e.e. 2,1) en el periodo 1999-2017 (figura 3), siendo este un valor negativo, que no contribuye a un gran incremento para PL, debido a que la selección de toros se basó en características de PL y tipo.

Tendencias genéticas superiores a la estimada en este estudio para vacas de la raza Holstein fueron reportados por el CDCB en USA, con una tendencia positiva para PL de 75 libras/año (+34,3 kg/año). Otros autores como Vargas y Gamboa (2008), en Costa Rica, reportaron un incremento de 6,7 kg/año en un periodo de 22 años para ganado Holstein. Toledo et al. (2014) en México estimaron un incremento de +30 kg de leche por año; Haiduck et al. (2019), en Brasil, una tendencia de +17,5 kg/año, y +21 kg de leche por año reportado por Chegini et al. (2013) en Irán. Estos resultados pueden deberse al uso de toros de mayor valor genético para esta característica, seleccionados en función del ambiente en el que se desarrolla la producción en estos países. En el establo Granados, la selección se realiza teniendo en cuenta otras características como la conformación y el tipo, además de la producción de leche, lo que puede generar la baja tendencia para esta característica. Hossein-Zadeh (2011) realizó una investigación en Irán durante los años 1990 al 2007 y obtuvo una tendencia genética de + 4,2 kg de leche por año, atribuyendo los bajos valores a la baja frecuencia de uso de toros probados y positivos para la producción de leche.



**Figura 3.** Tendencia genética en producción de leche a 305 días para vacas de raza Holstein en el establo Granados, Perú (1999-2017).

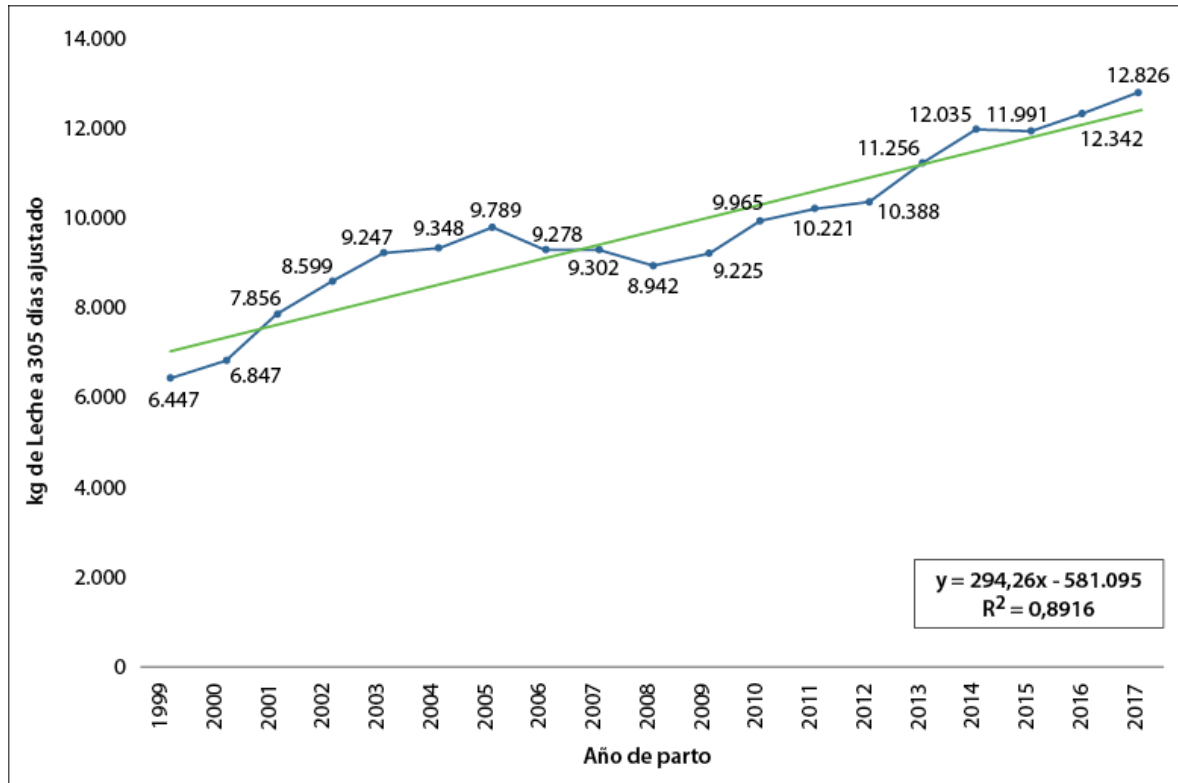
Fuente: Elaboración propia

En Turquía, Katok y Yanar (2012) y Sahin et al. (2012) evaluaron ganado Holstein, encontrando una tendencia genética de +3,7 kg/año y -2,46 kg/año, respectivamente. Estos valores bajos se deben a que la selección de los toros se basó en los registros genealógicos y las observaciones fenotípicas en lugar de estimaciones más fiables del valor de cría tales como pruebas, mientras que en el establo Granados la selección de toros se realiza por fenotipo y teniendo en cuenta valuaciones genéticas de otros países. Por ello, el cambio genético es bajo, porque se consideran evaluaciones realizadas en diferentes condiciones al establo, el objetivo de mejora no solo es la producción de leche y, probablemente, la poca cantidad de datos y el modelo estadístico utilizado en esta investigación.

Durante todo el periodo, los VGE variaron incrementando o disminuyendo. Según Araújo et al. (2003), una explicación para variaciones en la tendencia genética es el flujo desorganizado del mejoramiento genético; es decir, cada productor adopta sus propios objetivos de selección, independientemente de los demás. Esto explicaría la fluctuación de los VGE, ya que el objetivo de selección fue variando a través de los años en el establo Granados.

A partir de 1997, en el establo Granados hubo cambios administrativos y, con ello, el responsable comenzó a seleccionar toros en la búsqueda de mayor PL; por ello, se observa una tendencia creciente entre 1999 y el 2000. A partir de este año, hubo cambios respecto al objetivo de selección, enfocándose no solo en producción de leche, sino también en características de tipo y conformación. Estos objetivos de selección se siguen manteniendo en el establo Granados, buscando equilibrar la mejora en la producción de leche y tener animales que se mantengan más tiempo en el establo. Por lo tanto, el

comportamiento de los VGE dependerá de las decisiones que tenga cada productor al momento de realizar la selección de sus animales. De aquí la importancia de la interpretación del análisis de las estimaciones de tendencias genéticas, ya que permite asegurar que la selección se dirija hacia los rasgos de importancia económica, además de ayudar en la definición de los objetivos de selección.



**Figura 4.** Tendencia fenotípica en producción de leche a 305 días para vacas de raza Holstein en el establo Granados, Perú (1999-2017).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se presenta la media de los valores observados y la estimación lineal de la tendencia fenotípica; además, se observa que durante el periodo 1999-2017, el establo Granados ha duplicado la producción de leche a 305 días, pasando de 6.447 kg a 12.826 kg, es decir, ha tenido un incremento de 6.379 kg de leche durante dicho periodo. La tendencia fenotípica estimada del establo Granados para la PL fue de +294,3 kg (e.e. 24,9 kg) de leche por año en una campaña ajustada a 305 días. La ecuación de regresión fue  $-581,09 + 294,3X$ , con un  $R^2 = 0,89$ .

Para la tendencia fenotípica, algunos autores atribuyen que es resultado de la mejora genética y, en menor medida, de factores ambientales. Por ejemplo, García et al. (2016) indicaron que más del 56 % del incremento de la producción de leche en EE. UU. se puede atribuir a un cambio genético. En India, Dash et al. (2016) obtuvieron para vacas Holstein una tendencia de +18,71 kg de leche, en un periodo de 34 años (1972-2012). En Tailandia, Konkrua et al. (2017) estimaron una tendencia de +21,3 kg/año, para

el periodo 1991-2014. Estas investigaciones sugieren que las mejoras en los rendimientos son resultado de la política de selección de reproductores exclusivamente con énfasis en el rasgo de producción.

Otros investigadores, por el contrario, encontraron que los aumentos en los rendimientos productivos son resultado de mejoras de los factores ambientales. Se pueden citar autores como Vargas y Gamboa (2008), quienes estimaron una tendencia fenotípica positiva de +97,1 kg de leche a 305 días para vacas Holstein en Costa Rica durante el periodo 1985-2007, atribuyendo que estos incrementos se debían, en su mayoría, a factores ambientales y, en menor medida, a factores genéticos.

Sahin et al. (2012) estimaron una tendencia fenotípica lineal de +122 kg/año y concluyeron que este incremento de los valores fenotípicos para la producción de leche parece deberse a la mejora de las condiciones ambientales. Por otro lado, en Turquía, Katok y Yanar (2012) estimaron una tendencia fenotípica de -17,7 kg/año, e indican que la disminución en este rasgo fenotípico podría atribuirse a factores ambientales adversos, la presencia de enfermedades, así como insuficiente alimentación. Las condiciones climáticas y geográficas duras podrían ser algunas de las razones ambientales responsables de este valor negativo.

La tendencia fenotípica estimada para este trabajo es superior a las mencionadas anteriormente. La variación en estas tendencias es reflejo del nivel de manejo, que varía de acuerdo con la habilidad del administrador del establo, su eficiencia en la supervisión de actividades y el manejo del forraje (Katok & Yanar, 2012; M'hamdi et al., 2012).

El aumento de la media de la producción de leche en los años de estudio del establo Granados se debe principalmente a las mejoras en las condiciones ambientales y en poca magnitud a la selección o la introducción de genes superiores. Se pueden indicar las principales mejoras establecidas. En el 2000, se tenía un promedio de 6.847 kg de leche; el mismo año, se cambió la forma de presentación del forraje, pasando de un suministro de maíz chala entera a picada; se hace una recategorización de los animales según su nivel de producción; se establecieron diferentes dietas para cada categoría, obteniendo así para el 2002 un promedio de 8.599 kg de leche por lactancia a 305 días. A partir del 2002, se aumentó el número de raciones al día, pasando de una sola a dos; se adquirió más terreno y las instalaciones fueron mejoradas; también se comenzó a separar a los animales según número de parto y se estableció el ordeño mecánico, ya que el ordeño que se hacía era manual. En el 2007 el promedio de producción registrado fue de 9.302 kg, lo que indica un incremento de 703 kg de leche desde el 2002 al 2007. Para el 2007, cambió la frecuencia de ordeño, pasando de realizar dos a tres ordeños por día, aumentando así una ración más al día. A partir del 2013, se estableció el uso de raciones totalmente mezcladas: cuatro raciones al día usando ensilado, y se comenzó a usar un sistema de enfriamiento para las vacas, logrando pasar de un promedio de 11.256 kg a 12.826 kg de leche para el 2017.

Se puede apreciar que estos cambios han influenciado en el comportamiento productivo del establo Granados de manera positiva, lo que concuerda con lo reportado por M'hamdi et al. (2012), quienes indicaron que la variación en la producción de leche de un año a otro podría atribuirse a cambios en el

tamaño del establo, la edad de los animales y las buenas prácticas de gestión introducidos de un año a otro.

Al igual que lo reportado por Vargas y Gamboa (2008), el aumento de la media de la producción de leche en los años de estudio del establo Granados se debe principalmente a las mejoras en las condiciones ambientales, tales como condiciones de gestión, salud y nutrición que se ofreció a los animales, y en poca magnitud a la selección o la introducción de genes superiores, ya que la tendencia fenotípica lograda durante 1999-2017 fue de +294,26 kg/año y la tendencia genética en este mismo periodo fue de -2,4 kg/año. Similar a estas tendencias, Sahin et al. (2012) reportaron que la estimación de su tendencia fenotípica es mayor a su tendencia genética de -2,46 kg/año.

Finalmente, se puede decir que tanto la gestión como la mejora genética deben integrarse para obtener mejores rendimientos y, con ello, aumentar la rentabilidad del establo.

## Conclusiones

Para el establo evaluado del valle de Huaura, Perú, el incremento en la producción de leche durante el periodo de estudio fue resultado de las mejoras implementadas en el sistema de producción y, en menor medida, por la genética utilizada, logrando una tendencia fenotípica positiva y una tendencia genética negativa, debido a que la selección de toros se basó en características de producción y tipo. Por otro lado, los VGE para la producción de leche de las vacas y hembras jóvenes que permanecen actualmente en el establo demuestran que existe gran variación genética y que, haciendo una adecuada selección, se podría mejorar la tendencia genética del establo para esta característica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Perú, por el financiamiento de esta investigación como parte del concurso de Becas de Posgrado – Maestrías; a Inversiones Pecuarias Granados SAC, por brindar la información necesaria, y al Programa de Mejoramiento Animal de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por brindar sus instalaciones para el procesamiento de la información. Además, agradecen a los editores de esta revista por sus comentarios y a los revisores pares que ayudaron a mejorar este trabajo.

## Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y están de acuerdo con su publicación, manifestando que no existen conflictos de interés en este estudio.

## Referencias

- Amorim, A. (2006). Mejoramiento genético de bubalinos. *III Simposio Búfalos de las Américas*, Medellín, Colombia, 96-115.
- Arango, J., & Echeverri, J.J. (2014). Asociación del valor genético del toro con caracteres productivos en vacas lecheras en Colombia. *Revista Archivos de Zootecnia*, 63(242), 227-237. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922014000200001>
- Araújo, C., Torres, R. de A, Palma, F., Pereira, J., Pereira, J.C., Pereira, C.S., Araújo, S., Torres Jr., R. de A., Da Silva, H., Navajas, L., & Da Rocha, F. (2003). Tendência genética para características produtivas em bovinos da raça Pardo-Suíça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6), 1872-1877. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800010>
- Corrales, J., Cerón, M., Cañas, J., Herrera, C., & Calvo, S. (2011). Genetic parameters of type traits and production in Holstein cattle from the Department of Antioquia. *Revista MVZ Córdoba*, 17(1), 2870-2877.
- Cheginí, A., Shadparvar, A., & Ghavi Hossein-Zadeh, N. (2013). Genetic trends for milk yield, persistency of milk yield, somatic cell count and calving interval in Holstein dairy cows of Iran. *Journal of Applied Animal Science*, 3, 503-508.
- Dash, S., Gupta, A., Singh, A., Chakravarty, A., Valsalan, J., Shivahre, P., Panmei, A., & Divya, P. (2016). Analysis of genetic trend in fertility and production traits of Karan Fries (Holstein Friesian crossbred) cattle using BLUP estimation of breeding values. *Indian Journal Dairy Science*, 69(2), 186-189.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introducción a la genética cuantitativa*. 4.ª ed. Editorial Acribia.
- Galeano, A. P., & Manrique, C. (2010). Estimación de parámetros genéticos para características productivas y reproductivas en los sistemas doble propósito del trópico bajo colombiano. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 57(2), 119-131. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/17342>
- García, A., Cole, J., VanRaden, P., Wiggans G., Ruiz, F., & Van Tassellb, C. (2016). Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *PNAS*, 113(33), e3995-e4004. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519061113>
- Gilmour, A. R., Gogel, B. J., Cullis, B. R., Welham, S. J., & Thompson, R. (2015). *ASReml user guide Release 4.1*. Functional Specification, VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK.
- González, D., Guerra, D., Evora, J. C., Portales, A., Ortiz, J., González, S., & Ramírez, R. (2009). Heredabilidad y tendencia genética de la producción de leche y grasa en vacas siboney de Cuba. *Ciencia y Tecnología Ganadera*, 3(1), 27-32.
- Gutiérrez, G., Barrón, D., More, M., & Montoya, B. (2016). Evaluaciones genéticas poblacionales para ganado vacuno Holstein en el Perú. *Notas ganaderas 2016-I* apartado 456-Lima, Programa de Mejoramiento Animal, Facultad de Zootecnia, UNALM- Perú.
- Gutiérrez, J. P. (2010). *Iniciación a la valoración genética animal*. Editorial Complutense.
- Haiduck, A., Alfonso, E., Daltro, D., Torres, H., Braccini, J., & Cobuci, J. (2019). Genetic trends and genetic correlations between 305-day milk yield, persistency and somatic cell score of Holstein cows in Brazil using random regression model. *Animal Production Science*, 59, 207-215. <https://doi.org/10.1071/AN16835>

- Henderson, C. R. (1988). *Theoretical basis and computational methods for a number of different animal models*. Department of Animal Sciences, University of Illinois.
- Hernández, A., Ponce de León, R., García, S., Guzmán, G., & Mora, M. (2011). Evaluación genética del bovino lechero Mambí de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(4), 355-359. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022260003.pdf>
- Hossein-Zadeh, N. G. (2011). Genetic and phenotypic trends for age at first calving and milk yield and compositions in Holstein dairy cows. *Archiv Tierzucht*, 54(4), 338-347. <https://doi.org/10.5194/aab-54-338-2011>
- Kaygisiz, A. (2013). Estimation of genetic parameters and breeding values for dairy cattle using test-day milk yield records. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(2), 345-349. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-47572005000100013>
- Katok, N., & Yanar, M. (2012). Milk traits and estimation of genetic, phenotypic and environmental trends for milk and milk fat yields in Holstein Friesian cows. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(2), 311-314
- Konkruea, T., Koonawootrittriron, S., Elzo, M., & Suwanasopee, T. (2017). Genetic Parameters and Trends for Daughters of Imported and Thai Holstein Sires. *Agriculture and Natural Resources*, 51(5), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.12.003>
- M'hamdi, N., Bouallegue, M., Frouja, S., Ressaissi, Y., Brar, S., & Hamouda, M. (2012). Effects of environmental factors on milk yield, lactation length and dry period in Tunisian Holstein cows. *Overview of Animal Nutrition, Management and Health*, 153-164. <http://dx.doi.org/10.5772/50803>
- Missanjo, E., Imbayarwo-Chikosi, V., & Halimani, T. (2012). Genetic trends production and somatic cell count for Jersey cattle in Zimbabwe born from 1994 to 2005. *Tropical Animal Health and Production*, 44(8), 1921-1925. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0157-6>
- Palacios, A., Rodríguez, F., Jiménez, J., Espinoza, J. L., & Núñez, R. (2001). Evaluación genética de un hato Holstein en Baja California sur, utilizando un modelo animal con mediciones repetidas. *Agrociencia*, 35, 347-353.
- Quijano, J., & Echeverri, J. (2015). *Genética cuantitativa aplicada al mejoramiento animal*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sahin, A., Ulutas, J., Adkinson, A., & Adkinson, R. (2012). Genetic and environmental parameters and trends for milk production of Holstein cattle in Turkey. *Italian Journal of Animal Science*, 11(e44), 242-248. <https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e44>
- Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA). (2017). *Boletín estadístico de producción agrícola y ganadera-IV trimestre 2017*. <http://sica.minagri.gob.pe/sica/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-pecuaria>
- Toledo, H., Ruiz, F., Vázquez, C., Berruero, J., & Elzo, M. (2014). Tendencias genéticas y fenotípicas para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 471-485.
- Vargas, B., & Gamboa, G. (2008). Estimación de tendencias genéticas e interacción genotipo x ambiente en ganado lechero de Costa Rica. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 46(4), 371-386. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V46I4.1798>