

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**PARÁMETROS GENÉTICOS Y FACTORES AMBIENTALES
ASOCIADOS AL PESO VIVO EN VACAS LECHERAS**

por

**Johanna BIZOZA MARTINEZ
Camila REVETRIA TORRES**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY**

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Dr. Hugo Naya

Dr. Jorge Urioste Aguerre

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Hugo Naya

DMV (Mag.) Rodrigo López

Ing. Agr. (Mag.) Fernando Sotelo

Fecha: 21 de mayo de 2026

Estudiante:

Johanna Bizoza Martinez

Camila Revetria Torres

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestros tutores, Hugo y Jorge, por su acompañamiento constante, por guiarnos con paciencia y dedicación, y por estar siempre presentes en cada etapa de este proceso. Su orientación y confianza fueron fundamentales para que este trabajo se concretara con éxito.

Del mismo modo, expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, quienes han sido el pilar esencial a lo largo de todo este recorrido. Con su amor incondicional, apoyo y comprensión, nos brindaron la fuerza necesaria para superar cada desafío y continuar adelante incluso en los momentos más exigentes.

Este logro refleja no solo nuestro esfuerzo, sino también el apoyo de quienes nos acompañaron en este camino. A todos ellos, nuestro más profundo agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 FISIOLÓGÍA DEL CRECIMIENTO	12
2.1.1 Peso vivo y aspectos fisiológicos	12
2.1.2 Partición de energía	13
2.1.3 Curvas de crecimiento	14
2.2 EFECTOS GENÉTICOS ADITIVOS	15
2.2.1 Heredabilidades	15
2.2.2 Correlaciones.....	17
2.2.3 Correlaciones entre distintas mediciones de peso vivo y repetibilidad.....	21
2.3 EFECTOS AMBIENTALES	22
2.4 ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO.....	24
2.4.1 Selección dentro de raza	24
2.4.2 Heterosis	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	35
4.2 ANÁLISIS DE VARIANZA	40
4.3 PARÁMETROS GENÉTICOS.....	44
5. CONCLUSIÓN	47
6. BIBLIOGRAFÍA.....	48
7. APÉNDICES.....	56

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.

Tabla 1 Descripción matemática de modelos no lineales	15
Tabla 2 Heredabilidades de peso vivo y condición corporal.....	16
Tabla 3 Correlaciones de peso vivo con características productivas y reproductivas ...	18
Tabla 4 Correlaciones entre medidas de PV en diferentes etapas de la vida de vacas lecheras.....	21
Tabla 5 Efectos fijos de los modelos estadísticos aplicados	23
Tabla 6 Valores de heterosis relativa (%) reportados en diferentes estudios	26
Tabla 7 Conclusión global que se desprende de los modelos.....	27
Tabla 8 Heterosis relativa (%) de peso vivo.....	27
Tabla 9 Descripción de las variables en la base de datos “pesoslact”	29
Tabla 10 Codificación para la variable “laed” (lactancia-edad).....	31
Tabla 11 Codificación para la variable “etapalact” (etapa de lactancia).....	31
Tabla 12 Cuantificación de datos con inconsistencias	32
Tabla 13 Distribución de las observaciones por raza.....	32
Tabla 14 Distribución de las observaciones por lactancia	32
Tabla 15 Distribución de animales por número de registros	32
Tabla 16 Información de pedigree	32
Tabla 17 Valores promedio de producción de leche, grasa y proteína a 305 días por lactancia.....	39
Tabla 18 Promedio de días a la pesada por lactancia.....	40
Tabla 19 Efecto de Variables Categóricas sobre el Peso Vivo en Vacas Holando	41
Tabla 20 Medias de mínimos cuadrados para el efecto de lactancia	42
Tabla 21 Medias de mínimos cuadrados para el efecto de lactancia-edad.....	43
Tabla 22 Medias de mínimos cuadrados para el efecto de etapa de lactancia	44
Tabla 23 Análisis de comparaciones múltiples (método de Tuckey) para el efecto de la etapa de lactancia	44

Tabla 24 Parámetros genéticos (V_p , h^2 y r) y sus estimaciones	45
---	----

Figura No.

Figura 1 Flujo energético en bovinos lecheros.....	14
Figura 2 Distribución de edades de los animales a la toma de registros.....	35
Figura 3 Distribución de pesos de los animales a la toma de registros.....	35
Figura 4 Distribución de peso vivo por lactancia	36
Figura 5 Distribución de peso vivo por etapa de lactancia	37
Figura 6 Distribución de producción de leche a 305 días por lactancia	37
Figura 7 Distribución de producción de grasa a 305 días por lactancia	38
Figura 8 Distribución de producción de proteína a 305 días por lactancia.....	38
Figura 9 Distribución de días a la pesada por lactancia	39
Figura 10 Evolución de la heredabilidad (h^2) durante el muestreo	46
Figura 11 Distribución posterior de la heredabilidad (h^2).....	46

RESUMEN

El peso vivo (PV) de los animales lecheros es un rasgo de relevancia estratégica en los sistemas de producción, ya que influye tanto en los ingresos como en los costos de la empresa. Por un lado, se relaciona con el potencial productivo y la eficiencia alimenticia; por otro, determina requerimientos de mantenimiento y condiciona la longevidad y la salud de los animales. Conocer en detalle la magnitud de la variación genética y ambiental del PV, así como sus parámetros asociados, resulta fundamental para su inclusión en programas de selección y mejoramiento genético.

El presente trabajo tuvo como objetivo estimar los parámetros genéticos del PV en vacas lecheras, a partir de datos productivos y genealógicos procesados mediante modelos mixtos bayesianos implementados en el programa `thrgibbs1f90` del paquete BLUPF90. Para ello, se analizaron 1844 registros de PV correspondientes a 1610 vacas de la raza Holando, con información productiva y genealógica. El análisis se realizó empleando un modelo univariado de medidas repetidas que incluyó efectos fijos de grupo contemporáneo (combinación de rodeo y fecha de pesada), combinación lactancia–edad y etapa de lactancia; y efectos aleatorios de animal (efecto genético aditivo), efecto ambiental permanente y error residual.

Las salidas del modelo permitieron estimar las varianzas genética aditiva (VA), ambiental permanente (VEP) y residual (VR). A partir de ellas, se calcularon la varianza fenotípica total (VP), la heredabilidad (h^2) y la repetibilidad (r) para cada muestra posterior generada por el muestreo de Gibbs, obteniendo además las medias y los intervalos de credibilidad al 90% (percentiles 5 y 95) para cada parámetro.

Los resultados indicaron que el PV presentó una heredabilidad promedio de 0,593 (IC90%: 0,473 – 0,692) y una repetibilidad promedio de 0,778 (IC90%: 0,731 – 0,817). Estos valores reflejan que gran parte de la variación fenotípica del PV se debe a la variación genética aditiva, y que las mediciones son consistentes para un mismo animal a lo largo del tiempo. Asimismo, se observó que los efectos ambientales incluidos en el modelo tuvieron una influencia significativa sobre el PV, particularmente el grupo contemporáneo, la lactancia–edad y la etapa de lactancia.

En conjunto, estos resultados sugieren que el PV es un rasgo altamente heredable y repetible, con un alto potencial de respuesta a la selección genética. Su inclusión en programas de mejoramiento, junto con el control de los efectos ambientales identificados, podría contribuir a optimizar la eficiencia productiva y económica en los sistemas lecheros, favoreciendo la sustentabilidad y competitividad de la actividad.

Palabras clave: peso vivo, vacas lecheras, heredabilidad, repetibilidad, mejoramiento genético

ABSTRACT

Live weight (LW) in dairy animals is a trait of strategic relevance in production systems, as it influences both farm income and costs. On the one hand, it relates to productive potential and feed efficiency; on the other, it determines maintenance requirements and conditions animal longevity and health. A detailed understanding of the magnitude of the genetic and environmental variation of LW, as well as its associated parameters, is essential for its inclusion in genetic selection and improvement programs.

The present study aimed to estimate the genetic parameters of LW in dairy cows, using productive and genealogical data processed via Bayesian mixed models implemented in the `thrgibbs1f90` program from the BLUPF90 package. For this purpose, 1844 LW records corresponding to 1610 Holstein cows, with productive and genealogical information, were analyzed. The analysis was conducted using a univariate repeated measures model that included fixed effects of contemporary group (combination of herd and weighing date), lactation–age combination, and stage of lactation; and random effects of animal (additive genetic effect), permanent environmental effect, and residual error.

The model outputs allowed for the estimation of additive genetic variance (VA), permanent environmental variance (VEP), and residual variance (VR). From these, total phenotypic variance (VP), heritability (h^2), and repeatability (r) were calculated for each posterior sample generated by Gibbs sampling, also obtaining the means and 90% credibility intervals (5th and 95th percentiles) for each parameter.

The results indicated that LW presented an average heritability of 0.593 (90% CI: 0.473 – 0.692) and an average repeatability of 0.778 (90% CI: 0.731 – 0.817). These values reflect that a large part of the phenotypic variation in LW is due to additive genetic variation, and that measurements are consistent for the same animal over time. Likewise, it was observed that the environmental effects included in the model had a significant influence on LW, particularly the contemporary group, lactation–age, and stage of lactation.

Overall, these results suggest that LW is a highly heritable and repeatable trait, with high potential for response to genetic selection. Its inclusion in breeding programs, along with the control of the identified environmental effects, could contribute to optimizing productive and economic efficiency in dairy systems, favoring the sustainability and competitiveness of the activity.

Keywords: live weight, dairy cows, heritability, repeatability, genetic improvement

1. INTRODUCCIÓN

El rubro lechero en Uruguay ocupa el 4% del territorio agropecuario, con aproximadamente 652 mil hectáreas ocupadas. Anualmente se producen 2.275 millones de litros de leche, de los cuales 1.932 millones son remitidos a plantas de procesamiento, 265 millones se destinan a elaboración en el predio, 72 millones son consumidos por animales en el predio y el restante corresponde al consumo humano en el predio (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2024). Del total de la leche industrializada, el 30% se destina para el consumo interno y el 70% restante a exportación, siendo Uruguay el 9° país exportador mundial de leche (Instituto Nacional de la Leche [INALE], s.f.). Los principales productos elaborados por año son leche en polvo (70%), quesos (25%) y manteca y otras grasas (4%) (DIEA, 2024).

El consumo per cápita promedio de leche en nuestro país es uno de los más altos a nivel mundial. Se consumen 232 litros de leche per cápita por año, lo que representa más del doble del consumo promedio mundial (INALE, s.f.). Sin embargo, las condiciones naturales del país permiten un alto nivel de producción que no solo abastece el mercado interno, sino que también, permite la colocación del excedente en el mercado externo (Chiesa & Del Campo, 2011).

Si bien Uruguay es exportador neto de lácteos, es de pequeña escala, por lo tanto, las empresas productoras de nuestro país son tomadoras de precios y están expuestas a los vaivenes del mercado internacional (Custodio Prados, 2022).

Hernández (2011) explica que la fijación del precio al productor por litro de leche “consiste en pasar el remanente del precio internacional al productor, después de haber cubierto los costos industriales y los márgenes de ganancia” (p. 54). Este mecanismo, denominado “traslado hacia atrás”, hace que el ingreso de los predios esté fuertemente condicionado por los costos de producción, lo que resalta la necesidad de analizarlos en detalle.

Los costos de alimentación representan en promedio el 40-50% de los costos por litro de leche, los cuales están compuestos por alimentos comprados (concentrados, granos, etc.) y el alimento producido en el establecimiento (cultivos anuales, pasturas, reservas). Luego le siguen los costos del rodeo (inseminación, sanidad, gastos de ordeño), el costo por mano de obra y otros costos como el arrendamiento (Bartaburu & Majó, 2002).

La gran participación del componente forrajero en la dieta de los animales ha ubicado a Uruguay dentro de los países con menor costo de producción a nivel mundial (Fariña & Chilibroste, 2019; Hemme et al., 2014), lo que permite mantener una alta competitividad de los sistemas.

Por otro lado, los ingresos de un establecimiento corresponden a la venta de leche, terneros, vacas de descarte y vaquillonas excedentes luego de realizar la reposición en el rodeo (Rovere de Maio, 2010).

En base a esta estructura de ingresos y costos de los establecimientos lecheros, las

características de importancia económica son: volumen de leche producido, contenido de proteína, contenido de grasa y peso vivo adulto. En el caso del peso vivo adulto, incide tanto en los ingresos como en los costos. Por un lado, hay un ingreso por la venta de vacas de descarte, el cual está en función del peso vivo. Por otra parte, los requerimientos energéticos para mantenimiento también están en función del peso vivo, por lo tanto, a mayor peso vivo, mayores son estos requerimientos, aumentando en consecuencia los costos de alimentación (Rivero et al., 2012).

En consecuencia, el peso vivo de las vacas lecheras adquiere un valor económico negativo, ya que el costo marginal asociado a mayores requerimientos energéticos supera al ingreso marginal generado por la venta de animales más pesados (Berry et al., 2005; Koenen & Groen, 1998).

Estimaciones exactas del valor genético para el peso vivo y la condición corporal (BCS, por sus siglas en inglés), podrían ser valiosas para los programas de cría, tanto a nivel nacional como de rebaño. Pero, aunque medir peso vivo y condición corporal no es complicado técnicamente, generalmente faltan datos disponibles para las evaluaciones genéticas rutinarias (Berry et al., 2021).

Debido a que no hay un registro rutinario a gran escala de peso vivo, varios estudios proponen utilizar características de tipo para derivar predicciones de éste, tanto fenotípicas, como son la estatura, ancho de tórax, profundidad de cuerpo y angularidad, como genéticas (Banos & Coffey, 2012; Berry et al., 2004; Koenen & Groen, 1998; Vallimont et al., 2010).

El objetivo de esta tesis fue analizar los factores genéticos y ambientales que influyen sobre el peso vivo de vacas lecheras, a partir de datos productivos y genealógicos provenientes de establecimientos del Instituto Nacional para el Control y Mejoramiento Lechero. Específicamente, se buscó estimar los componentes de varianza asociados al peso vivo, calcular la heredabilidad y la repetibilidad de este rasgo, y evaluar la magnitud de los efectos de distintas variables ambientales, con el fin de generar información que contribuya al diseño de estrategias de selección y manejo en sistemas lecheros.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La presente revisión bibliográfica se organiza en cuatro apartados principales. En primer lugar, se aborda la fisiología del crecimiento en bovinos lecheros, incluyendo el análisis del peso vivo y los aspectos fisiológicos que lo determinan, la partición de energía y las curvas de crecimiento. En segundo lugar, se examinan los efectos genéticos aditivos, con especial énfasis en las estimaciones de heredabilidad y correlaciones genéticas para este rasgo. El tercer apartado está dedicado a los efectos ambientales que influyen sobre el peso vivo, tales como el manejo, la alimentación, las condiciones productivas y reproductivas, así como el entorno físico. Finalmente, se presentan las principales estrategias de mejoramiento genético aplicadas en bovinos lecheros, incluyendo la selección de caracteres, el uso de herramientas modernas de evaluación genética y el papel de la heterosis en programas de cruzamiento. Este marco conceptual constituye la base para la interpretación de los resultados y la discusión del presente estudio.

2.1 FISIOLÓGÍA DEL CRECIMIENTO

2.1.1 Peso vivo y aspectos fisiológicos

El peso total de un animal indicado en balanza se denomina peso vivo. Este incluye el peso de los tejidos corporales (peso vacío) y el peso del contenido presente en el tracto digestivo, correspondiente a agua y alimentos en distintos estados de digestión (llenado) (Di Marco, 2007).

Tradicionalmente, se ha utilizado el peso vivo para evaluar el crecimiento, pero esta medición puede estar sujeta a errores significativos debido al contenido del tracto gastrointestinal, especialmente en los rumiantes (Bavera, 2005).

Las curvas de crecimiento muestran cómo el desarrollo de un animal está influenciado por su edad y por factores ambientales que afectan su crecimiento y maduración física (Fitzhugh, 1976). Entender estas curvas es crucial para monitorear un rebaño, ya que proporcionan información detallada sobre la vida del animal. Asociar estas estimaciones con las características productivas permite obtener datos precisos sobre las necesidades del animal (Webster et al., 1982).

El crecimiento se refiere al incremento gradual de la masa corporal, se define como la ganancia de peso por unidad de tiempo (Helman, 1984). Comienza desde la etapa prenatal con la fertilización del óvulo y concluye cuando el organismo alcanza su peso máximo (peso maduro) y la forma física típica de su especie (Hammond, 1959).

Es importante destacar que, aunque los diferentes sistemas del animal se desarrollan simultáneamente, cada uno sigue un ritmo de crecimiento único y en un orden de prioridad estricto: el sistema nervioso alcanza la madurez primero, seguido del esqueleto, luego los músculos, y finalmente se acumula el tejido adiposo (Helman, 1984).

El crecimiento de los animales y su alimentación están estrechamente vinculados: la velocidad a la que crecen influye en sus requerimientos nutricionales, mientras que ajustes en la dieta pueden modificar su ritmo de crecimiento. Además, el ritmo de crecimiento también afecta la composición de los animales (McDonald et al., 1995).

La variación del peso vivo del animal se ve influenciada por una serie de factores como el genotipo, su alimentación, el manejo recibido, su estado de salud y condiciones climáticas, los cuales varían conforme la edad y grado de madurez del animal (Denise & Brinks, 1985; Lawrence & Fowler, 2002; Owens et al., 1993).

La ganancia de peso representa la acumulación de energía neta en forma de tejidos corporales, expresada como la tasa de aumento diario en kilogramos o gramos. Esta tasa depende del exceso de energía disponible más allá de lo necesario para el mantenimiento, junto con la cantidad de agua asociada a los tejidos en crecimiento (National Research Council [NRC], 2001).

El concepto de mantenimiento se refiere al estado en el cual un animal mantiene constante su composición corporal, sin producir sustancias adicionales ni realizar trabajo físico (McDonald et al., 1995).

2.1.2 Partición de energía

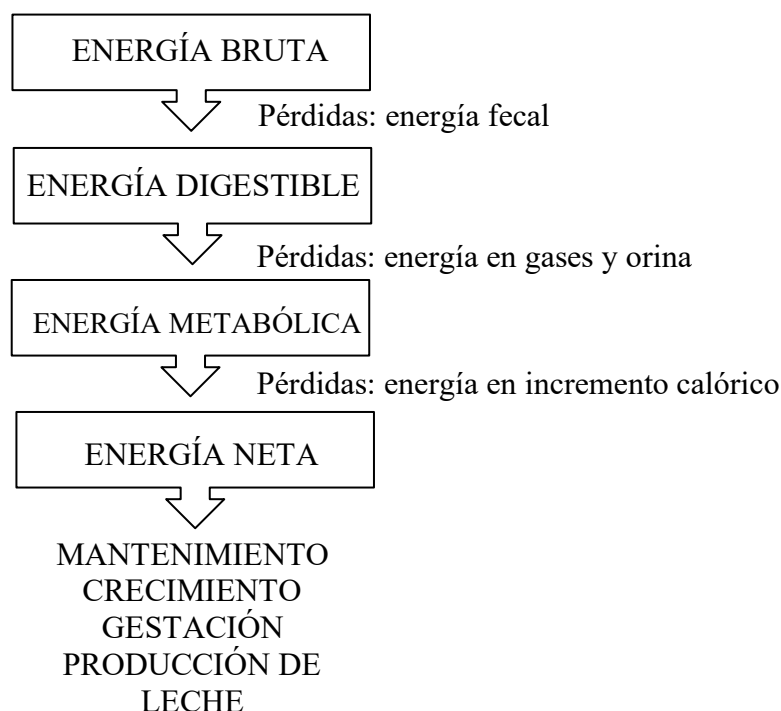
Cada vez se consideran con mayor importancia los costos energéticos asociados al peso vivo del animal al momento de buscar la eficiencia del sistema de producción. Para incluir esta variable en un índice de selección, es necesario predecir su mérito genético (Banos & Coffey, 2012).

Los requerimientos energéticos de los bovinos varían según la raza, sexo, estado fisiológico y factores ambientales (Mendoza-Martínez et al., 2008).

La energía es la capacidad de realizar trabajo (McDonald et al., 1995). El consumo de alimento y la movilización de tejidos corporales son las principales fuentes de energía para las vacas lecheras (Berry et al., 2021).

Partiendo de la energía bruta de los alimentos, existen diversas pérdidas en el tracto gastrointestinal del animal durante la ingesta: pérdida en heces, orina, gases (metano y CO₂ los principales) y en procesos de síntesis y catabolismo (contabilizado como incremento calórico). Descontadas estas pérdidas se obtiene la energía neta, la cual queda disponible para ser utilizada en mantenimiento (metabolismo basal, actividad y termorregulación), crecimiento, gestación y producción de leche. Si ya ocurrió el parto, la prioridad la tiene la producción de leche y luego una nueva gestación (Figura N°1) (Alderman & Cottrill, 1993).

Los costos de alimentación van a depender de la eficiencia y productividad de los alimentos utilizados, por lo tanto, resulta de importancia identificar aquellas etapas en las cuales podamos minimizar la pérdida de energía, para obtener el mayor beneficio de producción posible (Mendoza-Martínez et al., 2008).

Figura 1*Flujo energético en bovinos lecheros*

Nota. Adaptado de Alderman y Cottrill (1993).

Por otro lado, existe una considerable variación fenotípica y genética en la eficiencia de alimentación en el ganado, como la conversión de alimento, el consumo voluntario y la eficiencia parcial de crecimiento (Nkrumah et al., 2006).

Generalmente hay una considerable variación entre la energía utilizada y la partición energética, debido principalmente a las diferencias en pérdida de energía de la dieta (fecal, metano y orina), producción de calor y retención de energía (Basarab et al., 2003).

2.1.3 Curvas de crecimiento

El estudio del crecimiento en animales domésticos, y particularmente en bovinos, se basa comúnmente en modelos no lineales que describen la evolución del peso vivo en función de la edad. Estos modelos permiten estimar parámetros biológicos relevantes como el peso adulto (asintótico), la tasa de crecimiento y el punto de inflexión, siendo una herramienta útil tanto para el manejo como para la evaluación genética (Teleken et al., 2017).

Las funciones no lineales de crecimiento suelen estar compuestas por tres parámetros con significado biológico claro, y uno adicional de naturaleza matemática (Tabla 1). El parámetro A representa el peso adulto o asintótico, es decir, el peso teórico que alcanza el animal al llegar a su madurez, independientemente de variaciones genéticas

o ambientales. El parámetro K, también conocido como tasa de maduración o índice de precocidad, indica qué tan rápido el animal se aproxima a su peso adulto: valores elevados de K reflejan animales más precoces, mientras que valores bajos indican una madurez más tardía. El valor inverso de este parámetro (K^{-1}) permite estimar el tiempo requerido para alcanzar la madurez. Por su parte, el parámetro M señala el punto de inflexión de la curva, es decir, el momento en que el crecimiento comienza a desacelerarse. Este parámetro se mantiene constante en la mayoría de las funciones. Finalmente, el parámetro b, sin significado biológico, actúa como una constante de ajuste para que la curva se adapte al valor inicial del peso en el tiempo cero (Posada et al., 2011).

Las funciones Logística, Brody, Gompertz y von Bertalanffy han sido ampliamente utilizadas para describir patrones sigmoides de crecimiento en ganado bovino, tanto lechero como de carne (Berry et al., 2005; Domínguez-Viveros et al., 2013; Posada et al., 2011). En la Tabla N°1 se presentan las fórmulas de los modelos no lineales mencionados anteriormente.

Tabla 1

Descripción matemática de modelos no lineales

MODELO	ECUACIÓN
Logístico	$Y = A (1+b \exp-K*t)m$
Brody	$Y = A (1-b \exp-K*t)m$
Gompertz	$Y= A \exp(- b \exp-K*t)m$
von Bertalanffy	$Y=A (1 - b \exp-K*t)m$

Nota. Y = peso vivo del animal a la edad, A = peso asintótico (peso adulto), b = parámetro de integración, K = índice de madurez, t = edad del animal en meses, m = parámetro de inflexión. Se considera m = -1 (función logística), 1 (Brody), 3 (von Bertalanffy) y ∞ (Gompertz). Elaborado con base en ¹Posada et. al. (2011) y ²Domínguez-Viveros et al. (2013).

Varios estudios sobre la evolución del peso vivo en bovinos reportan que la función de crecimiento de von Bertalanffy ha demostrado un desempeño superior frente a otros modelos no lineales. Esta ventaja se atribuye tanto a su simplicidad operativa en los cálculos como a su capacidad para ajustarse adecuadamente a los datos biológicos observados (López de Torre et al., 1992; Vaccaro & Rivero, 1985; Wada et al., 1983).

2.2 EFECTOS GENÉTICOS ADITIVOS

2.2.1 Heredabilidades

La heredabilidad representa la proporción de la variación fenotípica total de un carácter atribuible a la varianza genética aditiva. Este parámetro expresa el grado de

correspondencia entre los valores fenotípicos observados y los valores genéticos aditivos, siendo esencial para predecir la respuesta a la selección. Una mayor heredabilidad implica que los valores fenotípicos son un indicador más fiable del mérito genético, lo que incrementa la eficiencia de los programas de selección (Falconer & Mackay, 1996).

En la Tabla N°2 se presentan los valores de heredabilidad reportados por diferentes autores para peso vivo (PV) y condición corporal (BCS).

Tabla 2
Heredabilidades de peso vivo y condición corporal

CARACTERÍSTICA	RAZA	Nº OBS.	h ²	SE	REFERENCIA
PV	Holando	40174	0.500	0.020	Berry et al. (2021)
	Holando	2435	0.650	0.040	Muller et al. (2006)
	Holando	9843	0.740	0.190	Ramatsoma et al. (2015)
	Holando y Jersey	169661	0.391	0.017	Pryce y Harris (2006)
	Holando	6575	0.430	0.047	Uribe y González (2018)
	Holando	1157	0.440	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Holando	2728	0.410		Banos y Coffey (2012)
	Holando	8725	0.600	0.057	Berry et al. (2003a)
	Holando	7344	0.330	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)
	Holando	7344	0.330	0.040 - 0.070	Koenen (2001)
	Holando	7345	0.240	0.040	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Jersey	3967	0.160	0.042	Ahlborn y Dempfle (1992)
BCS	Holando	3058	0.330	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	40174	0.190	0.010	Berry et al. (2021)
	Holando	2196	0.240	0.050	Muller et al. (2006)
	Holando	2211	0.230	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando y Jersey	169661	0.212	0.011	Pryce y Harris (2006)
	Holando	1157	0.350	0.030	Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Holando	8523	0.580	0.056	Berry et al. (2003a)
	Holando	1157	0.350		Veerkamp (1998)

El promedio ponderado de heredabilidad para el peso vivo es de 0.42, lo que indica que alrededor del 42% de la variación en esta característica se debe a factores genéticos aditivos. Este nivel de heredabilidad sugiere que el PV es altamente heredable, lo cual lo convierte en un buen candidato para programas de selección genética.

El rango reportado (0.16 - 0.74) refleja la variabilidad entre poblaciones y métodos. En poblaciones con h² altas (≈ 0.7), la selección genética podría producir avances significativos; en cambio, valores bajos (≈ 0.2) indican mayor influencia ambiental sobre

la expresión fenotípica del rasgo.

En el caso de la condición corporal, la heredabilidad promedio ponderada es de 0.23, lo que significa que solo un 23% de la variación se debe a la genética aditiva. Esto evidencia una mayor influencia ambiental — principalmente alimentación y manejo — y una menor respuesta esperada a la selección directa.

Debe considerarse además que la BCS es un rasgo de evaluación subjetiva, medido mediante escalas visuales y táctiles, lo que incrementa la varianza residual (Berry et al., 2021). Las discrepancias entre observadores o condiciones de evaluación pueden introducir errores sistemáticos, disminuyendo la precisión de las estimaciones.

El rango de heredabilidad para BCS (0.19 - 0.58) también muestra variabilidad considerable. En contextos donde la h^2 es más alta (0.58), la genética tiene un papel más importante, mientras que en entornos con valores bajos (≈ 0.2), el ambiente domina la expresión fenotípica.

El valor mínimo de heredabilidad para PV (0.16) proviene del estudio de Ahlborn y Dempfle (1992) en vacas Jersey y con tamaño muestral reducido. Este factor podría explicar la baja precisión de la estimación. En contraste, los estudios con vacas Holando arrojan valores mínimos de 0.24, lo cual confirma la importancia de considerar la raza y el tamaño de muestra al interpretar los parámetros genéticos.

Estos resultados son especialmente útiles para la formulación de programas de mejoramiento genético en ganado lechero, ya que muestran que el PV puede mejorar sustancialmente mediante selección genética, mientras que la BCS requiere un enfoque integral que combine mejora genética, manejo nutricional y control ambiental.

Con el objetivo de complementar la información presentada en la Tabla N°2, el Apéndice A incluye una recopilación ampliada de valores de heredabilidad reportados en la literatura para diferentes caracteres productivos, reproductivos y morfológicos en bovinos lecheros.

2.2.2 Correlaciones

Los datos recopilados sobre las correlaciones entre el peso vivo y diversas características productivas y reproductivas en ganado lechero (Tabla N°3) ofrecen información relevante para entender la influencia del peso en el desempeño general de los animales. De manera complementaria, el Apéndice B presenta un compendio más amplio de valores de correlaciones genéticas y fenotípicas reportados en la literatura para diversos caracteres productivos, reproductivos y morfológicos en bovinos lecheros.

Tabla 3*Correlaciones de peso vivo con características productivas y reproductivas*

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
		0.190	0.014	0.120	0.05	Muller et al. (2006)
	Producción de leche	0.340	0.014	0.290	0.01	Uribe y González (2018)
		-0.090	0.01 - 0.05	-0.200		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.390	0.106	0.200	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.290	0.130	0.170	0.05	Muller et al. (2006)
	Producción de proteína	0.380	0.053	0.270	0.02	Uribe y González (2018)
		-0.020	0.01 - 0.05	-0.130		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.370	0.108	0.220	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.350	0.130	0.180	0.05	Muller et al. (2006)
	Producción de grasa	0.400	0.043	0.300	0.02	Uribe y González (2018)
		0.030	0.01 - 0.05	-0.130		Veerkamp y Brotherstone (1997)
PV		0.340	0.110	0.180	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.290	0.100	0.170	0.05	Muller et al. (2006)
	% de proteína	-0.100	0.109	0.040	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.300	0.110	0.140	0.04	Muller et al. (2006)
	% de grasa	-0.090	0.111	-0.030	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
	PV al parto	0.850	0.01 - 0.05	0.760		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.640				Veerkamp (1998)
	BCS al parto	0.640	0.01 - 0.05	0.400		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Intervalo al 1er servicio	-0.250	0.090			Berry et al. (2003a)
	Intervalo 1er servicio - concepción	0.370	0.170			Berry et al. (2003a)
	Preñez al 1er servicio	-0.220	0.230			Berry et al. (2003a)
	Nº de servicios	0.150	0.130			Berry et al. (2003a)

En cuanto a las características productivas, las correlaciones genéticas entre el peso vivo y la producción de leche varían considerablemente según los estudios, con valores que oscilan entre -0.09 y 0.39. Este rango indica que, en algunos casos, un mayor peso vivo puede estar relacionado con una mayor producción de leche, como en el caso de Ahlborn y Dempfle (1992), quienes reportaron una correlación genética de 0.39, lo que sugiere que vacas más grandes tienden a producir más leche. Sin embargo, estudios como el de Veerkamp y Brotherstone (1997), que presentan una correlación negativa (-0.09), sugieren que en determinadas poblaciones o bajo ciertas condiciones, un mayor peso podría no estar relacionado con una mayor producción, e incluso podría tener un efecto inverso.

El promedio de las correlaciones genéticas entre peso vivo y producción de leche es de 0.208, lo que sugiere una relación levemente positiva entre el peso vivo y la producción de leche. Esto implica que, en promedio, la selección por mayor PV conduce a una ligera mejora genética en la producción de leche, aunque no de manera consistente ni muy significativa. Este efecto positivo puede explicarse porque vacas con mayor peso vivo poseen mayores reservas corporales (grasa subcutánea y tejido muscular), las cuales movilizan durante el balance energético negativo posparto, sosteniendo la producción de leche (Bauman & Currie, 1980).

Para la producción de proteína y grasa, se observa un patrón similar. Las correlaciones genéticas reportadas por diferentes estudios varían entre 0.29 y 0.40, lo que indica una tendencia positiva moderada entre el peso vivo y estas características. Esto significa que animales con mayor peso tienden a producir más proteína y grasa en la leche. Sin embargo, nuevamente, el estudio de Veerkamp y Brotherstone (1997) muestra una correlación cercana a cero o incluso negativa, sugiriendo variabilidad en la expresión de estas características según la población o las condiciones específicas.

Las correlaciones genéticas entre peso vivo y producción de proteína y grasa presentan un promedio de 0.255 y 0.280 respectivamente, mostrando una relación positiva algo más fuerte en comparación con la correlación entre peso vivo y producción de leche (promedio de 0.208). Esto indica que la selección por mayor PV podría estar asociada a mejoras en los componentes sólidos de la leche, reflejando un posible beneficio en la calidad composicional del producto lácteo. Aunque los valores promedio de estas correlaciones sugieren un efecto positivo, su magnitud moderada refleja que estas relaciones no son determinantes y pueden variar considerablemente entre diferentes estudios y condiciones. Esto subraya la necesidad de considerar múltiples factores al momento de establecer estrategias de mejoramiento genético dirigidas a mejorar la calidad de la leche a través de estos rasgos.

Berry et al. (2003b) presenta correlaciones entre el peso vivo y algunos parámetros reproductivos, las cuales muestran una mayor variabilidad. Por ejemplo, entre el peso vivo y el intervalo al primer servicio muestra una correlación negativa (-0.25), lo que sugiere que vacas con mayor peso vivo alcanzan la madurez reproductiva y están listas para la preñez en menos tiempo. Este efecto favorable podría estar relacionado con mejores reservas corporales y un estado energético que favorezca el inicio del ciclo

reproductivo.

Asimismo, la correlación entre el peso vivo y la preñez al primer servicio también es negativa (-0.22), lo que indica que vacas con mayor peso tienen una menor probabilidad de quedar preñadas en el primer intento. Este resultado es desfavorable desde el punto de vista reproductivo, ya que podría implicar que animales con un peso corporal más alto presentan ciertos factores que dificultan la concepción en el primer servicio.

Las correlaciones genéticas entre peso vivo e intervalo primer servicio-concepción (0.370) y entre peso vivo y número de servicios (0.150) muestran relaciones positivas, aunque con diferente intensidad. Estas correlaciones resultan desfavorables desde el punto de vista reproductivo, ya que indican que animales genéticamente más pesados tienden a presentar intervalos más prolongados entre el primer servicio y la concepción, así como requerir un mayor número de servicios para lograrla. En términos prácticos, seleccionar animales con mayor peso sin considerar estos efectos podría comprometer la eficiencia reproductiva del rodeo y aumentar los costos asociados al manejo reproductivo.

El valor de 0.370 para la correlación entre peso vivo e intervalo primer servicio-concepción indica que vacas con mayor peso vivo tienden a tener un intervalo más prolongado entre el primer servicio y la concepción. Esto puede interpretarse como un indicio de que un mayor peso podría estar asociado a problemas en la fertilidad, posiblemente relacionados con desequilibrios energéticos o metabólicos.

Por otro lado, la correlación de 0.150 entre peso vivo y número de servicios muestra una relación positiva más débil. Esto sugiere que vacas con mayor peso pueden requerir un número ligeramente mayor de servicios para quedar preñadas, aunque esta influencia no es tan marcada. Este resultado podría reflejar una ligera tendencia hacia un efecto adverso del peso sobre la eficiencia reproductiva, pero con menor impacto en comparación con el intervalo primer servicio-concepción.

Ambas correlaciones destacan la importancia de considerar las características reproductivas al seleccionar animales por peso vivo, ya que un peso excesivo podría tener efectos indirectos en la fertilidad. Diseñar programas de mejoramiento que balanceen estas características es fundamental para optimizar tanto la producción como la reproducción en vacas lecheras.

Estos resultados muestran que, aunque el peso vivo puede estar relacionado de manera positiva con la producción láctea y la condición corporal, también puede tener efectos adversos en ciertos parámetros reproductivos, especialmente aquellos relacionados con la eficiencia reproductiva. Estos hallazgos sugieren que el peso vivo debe ser gestionado cuidadosamente en programas de selección genética, buscando un equilibrio entre la mejora productiva y la eficiencia reproductiva.

2.2.3 Correlaciones entre distintas mediciones de peso vivo y repetibilidad

La Tabla N°4 presenta las correlaciones genéticas y fenotípicas entre distintas mediciones de peso vivo (PV) en diferentes momentos de la vida productiva de vacas lecheras. Las correlaciones fenotípicas oscilan entre 0.53 y 0.95, con un promedio general de 0.76, lo cual refleja una alta consistencia del rasgo a lo largo del tiempo.

Tabla 4

Correlaciones entre medidas de PV en diferentes etapas de la vida de vacas lecheras

ETAPA DE MEDICIÓN DE PV	CORR. GEN.	CORR. FEN.	COMENTARIOS	REFERENCIA
PV promedio en lactancia y PV al parto	0.85	0.76		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	0.85 >		Valor mínimo al día 140 de lactancia, luego aumenta	Berry et al. (2003b)
PV promedio en lactancia y PV al parto		0.74 – 0.78	Medida en 1ª, 2ª y 3ª paridad.	Koenen et al. (1999)
PV entre diferentes semanas		0.84 – 0.85	Correlación media entre cualquier par de medias semanales, Medida en 1ª, 2ª y 3ª paridad.	Koenen et al. (1999)
PV al parto entre paridades		0.53 – 0.61	Medida entre 1ª, 2ª y 3ª paridad.	Koenen et al. (1999)
PV promedio en lactancia entre 1ª y 2ª paridad		0.76		Koenen et al. (1999)
	0.76			Coffey et al. (2006)
PV promedio en lactancia entre 1ª y 3ª paridad		0.76		Koenen et al. (1999)
	0.45			Coffey et al. (2006)
PV promedio en lactancia entre 2ª y 3ª paridad		0.82		Koenen et al. (1999)
	0.67			Coffey et al. (2006)
PV semanal y PV promedio en lactancia		0.70 – 0.92	Media entre todas las semanas, medida en 1ª, 2ª y 3ª paridad.	Koenen et al. (1999)
PV en pesaje único y PV promedio semanal		0.95		Koenen et al. (1999)

De acuerdo con Falconer y Mackay (1996), cuando se realizan múltiples mediciones de un mismo carácter en el mismo individuo, la varianza fenotípica puede descomponerse en dos componentes: la variabilidad entre individuos y la variabilidad dentro del individuo. Esta descomposición permite calcular la repetibilidad (r), entendida como la proporción de la variabilidad total que se atribuye a diferencias permanentes entre individuos. Una repetibilidad elevada indica que las mediciones sucesivas de un mismo animal son consistentes y predicen adecuadamente su comportamiento futuro.

Nicholas (1996) define la repetibilidad como el grado de similitud entre mediciones repetidas de un carácter. Koenen et al. (1999) demostraron que las correlaciones fenotípicas entre diferentes lactancias pueden interpretarse como una medida de repetibilidad del PV: valores altos de correlación sugieren que una única medición de peso vivo puede ser suficiente para representar el comportamiento general del animal en el tiempo.

Las correlaciones genéticas entre PV en diferentes etapas de lactancia y paridades varían de 0.45 a 0.85, valores que se consideran moderados a elevados. Esto indica que el PV posee una base genética estable a lo largo de la vida del animal: vacas con mayor peso en una etapa tienden a mantener esa característica en etapas posteriores.

Esta estabilidad genética y fenotípica sugiere que es posible predecir el peso futuro de una vaca a partir de una medición en una fase específica de la lactancia, lo que contribuye a reducir la necesidad de registros continuos y optimiza los recursos en programas de selección genética y manejo productivo.

2.3 EFECTOS AMBIENTALES

Los efectos ambientales son a menudo considerados efectos fijos en los modelos de estudio, los cuales permiten controlar la heterogeneidad no observable, especialmente cuando esta es constante en el tiempo y está correlacionada con las variables independientes.

La Tabla N°5 muestra los efectos fijos de los modelos estadísticos estudiados, evidenciándose la repetibilidad de varios de ellos en los diferentes trabajos, lo que sugiere su relevancia a nivel general.

En términos generales, uno de los efectos fijos recurrentes en múltiples estudios analizados es el número de lactancias, así como la etapa de lactancia. Por ejemplo, investigaciones como la de Banos y Coffey (2012) y, Koenen y Groen (1998), consideran el número de lactancias como un efecto relevante; sin embargo, éste último también incluye la etapa de preñez como otro parámetro fijo, aspecto que no es considerado en el estudio de Banos y Coffey (2012). Por otro lado, parámetros fijos como la edad de la madre, fueron incluidos en un número de modelos considerado.

El efecto del grupo contemporáneo (definido por rodeo, año y estación, o bien por combinaciones más específicas como rodeo–fecha de pesada), constituye un factor ambiental fundamental en la variación del peso vivo de las vacas lecheras. Este efecto

refleja la influencia conjunta de aspectos de manejo, nutrición, sanidad y condiciones climáticas, y por lo tanto es indispensable su inclusión en los modelos de evaluación genética y productiva. Diversos estudios han reportado su relevancia en la explicación de la variabilidad del peso vivo y de caracteres relacionados (Banos & Coffey, 2012; Berry et al., 2002, 2021; Koenen & Groen, 1998; Muller et al., 2006). Estos antecedentes coinciden en que, al considerar el grupo contemporáneo como efecto fijo o aleatorio, se mejora la capacidad del modelo para diferenciar entre la variación de origen ambiental y la atribuible a factores genéticos, lo que resulta clave para obtener estimaciones más precisas de parámetros productivos y reproductivos.

En diversos estudios, también se observa la presencia de efectos genéticos, lo cual se atribuye al análisis de diferentes razas, cruces o grupos genéticos específicos. La consideración del porcentaje de genes H% o de efectos genéticos no aditivos, como la heterosis, resulta clave para diferenciar entre efectos genéticos aditivos y no aditivos. Este enfoque es particularmente relevante cuando se busca estimar parámetros como la heredabilidad, entre otros.

Tabla 5
Efectos fijos de los modelos estadísticos aplicados

REFERENCIA	EFECTOS FIJOS					
	GRUPO CONTEMPORÁNEO	Nº LACT.	EDAD	ETAPA LACT.	EFECTOS GENÉTICOS	ETAPA PREÑEZ
Banos y Coffey (2012)	Año y mes de pesada. Grupo de dieta.	X	X		X	
Berry et al. (2002)	Rodeo x mes de parto	X			% genes H	
Berry et al. (2021)	Rodeo-año-estación. Rodeo-fecha pesaje. Mes 1er parto.	X		X	Heterosis. Recombinación.	
Muller et al. (2006)	Año de parto. Estación de parto.	X				
Ramatsoma et al. (2015)	Rodeo x año x época pesaje	X	X	X		
Pryce y Harris (2006)	X		X	X	Proporciones raciales. X	
Uribe y González (2018)	Año x estación de parto	X		X		
Koenen y Groen (1998)		X			Grupo genético	X
Berry et al. (2004)	Rodeo x año x mes			X		

2.4 ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

El mejoramiento genético animal se fundamenta en la utilización de la variación genética presente en las poblaciones, la cual puede dividirse en variación intra e interracial. Las razas constituyen poblaciones cerradas con características fenotípicas y genéticas particulares, cuyas diferencias se originan por procesos como deriva genética, mutaciones, selección natural y, de manera más dirigida, selección artificial (Falconer & Mackay, 1996). Esta última, al modificar las frecuencias génicas en función de rasgos de interés, constituye la herramienta central de los programas de mejoramiento.

De acuerdo con Bourdon (1999), Simm (1998) y Koch et al. (1989), la variación genética puede aprovecharse mediante tres estrategias principales: (1) selección entre razas o tipos raciales, sustituyendo o eligiendo la más adecuada; (2) selección dentro de razas, eligiendo como reproductores a los individuos superiores para las características objetivo; y (3) cruzamientos, para combinar ventajas genéticas y aprovechar la heterosis. La elección de la estrategia depende de la magnitud de las diferencias genéticas aditivas entre razas, de la respuesta esperada a la selección y de la interacción entre genética, manejo y mercado.

La efectividad de estas estrategias, de acuerdo con Dickerson (1969), depende de factores tales como la tasa reproductiva de la especie, la magnitud de la heterosis en el desempeño individual, maternal y paternal, y la pérdida de superioridad epistática por recombinación genética. Asimismo, la magnitud de las diferencias aditivas entre razas y la interacción entre la genética y el manejo o mercado resultan determinantes en el éxito del programa genético. En el contexto de la producción lechera, estas estrategias se aplican para mejorar rasgos que inciden directamente en la eficiencia y rentabilidad del sistema, como el peso vivo, cuyo valor económico se vincula tanto con los ingresos por venta de animales como con los costos de mantenimiento (Berry et al., 2005).

En la planificación de cruzamientos o en la formación de razas compuestas, es crucial considerar la heterosis, las diferencias genéticas entre razas y la complementariedad genética para diseñar programas de mejora genética más efectivos y adaptados a los objetivos productivos.

2.4.1 Selección dentro de raza

La selección de ganado lechero es un proceso determinante para mejorar la eficiencia productiva, y debe considerar tanto los rasgos de producción como las características físicas, como el tamaño corporal. La combinación de estos rasgos en un objetivo de selección, con sus respectivos valores económicos, podría generar estimaciones más precisas sobre la rentabilidad esperada de las descendencias de los sementales y contribuir a un incremento en los ingresos netos de la explotación lechera a largo plazo. Sin embargo, esto requiere la disponibilidad de parámetros fenotípicos y genéticos específicos para cada población y entorno, ya que estos pueden variar significativamente según las condiciones locales, como el tipo de sistema de alimentación (por ejemplo, basado en pastoreo) y la intensidad de selección aplicada en el toro a vaca

y vaca a toro (Ahlborn & Dempfle, 1992).

Los estudios muestran que un enfoque eficaz en la selección de ganado lechero debe centrarse no solo en el rendimiento de leche, sino también en otros componentes como la grasa y la proteína en la leche. Además, la selección de rasgos relacionados con el tamaño corporal debe tener en cuenta el impacto económico de estos, dado que el tamaño de la vaca puede influir en su eficiencia productiva (Ahlborn & Dempfle, 1992).

Se han identificado correlaciones genéticas negativas entre la producción lechera y la mastitis, las enfermedades metabólicas y la fertilidad. Aunque no se entienden completamente los mecanismos fisiológicos que afectan la fertilidad, se sugiere que la genética y la gestión nutricional inapropiada en vacas de alta producción podrían contribuir a la subfertilidad. Este panorama ha llevado a un cambio en las prioridades de selección, con un mayor énfasis en la salud, la reproducción y el bienestar de las vacas lecheras, en lugar de solo en la producción (van der Werf & Pryce, 2019).

2.4.2 Heterosis

La heterosis, definida por Shull (1948), es el aumento en la productividad de los híbridos frente a sus progenitores contemporáneos de raza pura. Es el fenómeno en el que un organismo muestra un mayor vigor o capacidad de crecimiento debido a la disimilitud entre los gametos que se unen para formar dicho organismo. Este mayor vigor se manifiesta en características como rapidez de crecimiento, altura y robustez general, y no necesariamente depende de genes mendelianos (genes que se transmiten de manera predecible con patrones dominantes y recesivos).

Falconer (1981) explica que la heterosis se debe a diferencias en frecuencias génicas y efectos de dominancia, estableciendo una relación lineal con la heterocigosis, alcanzando su máxima expresión en la F1. Este modelo fue validado por Gregory y Cundiff (1980), aunque Sheridan (1981) señala que la epistasis también puede ser relevante.

Dickerson (1969) introdujo el concepto de "pérdidas por recombinación", ampliado por Kinghorn (1980), el cual mide las desviaciones de la heterosis con respecto a la heterocigosis.

En ganado de carne, Sheridan (1981) clasifica la heterosis en tres tipos: individual (aumento en rendimiento de híbridos sobre el promedio de padres), maternal (mejora al usar madres híbridas) y paternal (ventaja de padres híbridos en la progenie).

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los valores de heterosis relativa (%) reportados en distintos estudios (Tabla N°6). Este análisis permite identificar las variaciones en los efectos heteróticos según el tipo de cruce, la característica evaluada y las condiciones experimentales. Se incluyen los resultados obtenidos por Kumar et al. (2016), Clasen et al. (2017), Jönsson (2015) y Kargo et al. (2021), cuyos trabajos ofrecen una perspectiva integral sobre la magnitud y relevancia de la heterosis en distintos contextos genéticos y productivos.

Tabla 6*Valores de heterosis relativa (%) reportados en diferentes estudios*

RANGO/ CARACTERÍSTICA	KUMAR ET AL. (2016)	CLASEN ET AL. (2017)	JÖNSSON (2015)	KARGO ET AL. (2021)
Producción de leche (MY)	+28,0%	DH x DR: 3,2% DH x DJ: 4,4% DR x DJ: 6,7%	+1,9% a +4,5%	
Proteína (PY)		DH x DR: 3,2% DH x DJ: 4,4% DR x DJ: 6,7%	+1,6% a +4,3%	
Grasa (FY)		DH x DR: 3,2% DH x DJ: 4,0% DR x DJ: 5,4%	+2,0% a +4,5%	
Edad al primer parto (AFC)	-14,0 % (mejora)			
Intervalo entre partos	-6,0 % (mejora)	No reportado	+0,8 a +1,4%	
Longevidad (global o L4-L5)	+16,2%	+6,9 a +8,5%	+12,3 a 13,0%	
Supervivencia (2da-3ra lactancia)		+3,1 a +7,3%	+4,5 a +13,0%	
Mastitis (MAST)	No significativa	No significativa	Mejoras leves	No significativa
Células somáticas (SCS)	No reportado	-0,13 (mejora)	-0,10 a -0,13	DH x DR: -0,041 (mejora)
Fertilidad (partos)	+3,2 / +3,5 %		+0,5 a + 2,7%	
Salud de la ubre (FLD/MD)			+0,6 a +2,5%	SCS solo significativa en DHxDJ
Razas utilizadas	Sahiwal x Holstein Friesian	Holstein Danes (DH) Rojo Danes (DR) Jersey Danes (DJ)	Anatolian Black y cruza locales	Holstein Danes (DH) Rojo Danes (DR) Jersey Danes (DJ)

La heterosis representa un recurso genético valioso para mejorar la eficiencia productiva y funcional del ganado lechero, especialmente cuando se aplican cruzamientos entre razas genéticamente divergentes.

Los resultados muestran que la heterosis en producción lechera es más pronunciada en cruces entre razas contrastantes, como Holstein × Jersey, con incrementos del 4 - 6% en leche, grasa y proteína (Clasen et al., 2017; Jönsson, 2015). Por el contrario, el valor extremo reportado por Kumar et al. (2016) (+28%) debe interpretarse en el contexto de razas locales tropicales, con alta variabilidad genética y baja presión de selección previa.

La heterosis también tiene un efecto positivo en la longevidad. Clasen et al. (2017) demostraron un incremento progresivo desde la primera hasta la quinta lactancia, alcanzando mejoras de hasta +8.5%, mientras que Kumar et al. (2016) y Jönsson (2015) informaron aumentos de +12-16% en vida útil, lo cual se traduce en menores tasas de reemplazo y mayor eficiencia económica.

Respecto a la salud de la ubre, los resultados son menos consistentes. Kargo et al. (2021) observaron una reducción significativa en el recuento de células somáticas únicamente en el cruce Holstein × Rojo Danés, mientras que la incidencia de mastitis clínica no mostró diferencias notables. Jönsson (2015) detectó reducciones leves en SCS, posiblemente asociadas a menor exigencia metabólica en vacas cruzadas.

La fertilidad es uno de los rasgos más beneficiados por la heterosis, sobre todo en razas de alta especialización como la Holstein, caracterizadas por cierta depresión endogámica. Kumar et al. (2016) reportaron una reducción del 14% en edad al primer parto, un 6% en intervalo entre partos y un aumento de 3.5% en la tasa de partos.

El siguiente cuadro (Tabla N°7) presenta una conclusión global basada en los resultados de Kumar et al. (2016), Clasen et al. (2017), Jönsson (2015) y Kargo et al. (2021).

Tabla 7

Conclusión global que se desprende de los modelos

CATEGORÍA	HETEROSIS ESPERADA (↑)	INFLUENCIA GENÉTICA / AMBIENTAL
Producción (MY)	Moderada (3–6%)	Aumenta con distancia genética y mejor manejo
Longevidad	Alta (6–16%)	Fuerte heterosis; mejora sostenida en vacas cruzadas
Salud ubre (SCS, MAST)	Baja–moderada	Inconsistente, mejora marginal
Fertilidad	Alta	Muy favorable, especialmente en razas especializadas

La heterosis o vigor híbrido es un fenómeno ampliamente documentado en bovinos, especialmente en relación con características de crecimiento como el peso vivo (PV). En este contexto, se comparan los resultados de dos estudios relevantes: el trabajo experimental de Robison et al. (1980) y el análisis a gran escala realizado por Handcock et al. (2019) (Tabla N°8). Ambos evaluaron los efectos de la heterosis en PV en novillas lecheras cruzadas, aunque en contextos y con razas diferentes, lo que permite contrastar los patrones y magnitudes observadas bajo distintas condiciones genéticas y de manejo.

Tanto Robison et al. (1980) como Handcock et al. (2019) muestran que la

heterosis en peso vivo es positiva durante la etapa juvenil del crecimiento. En ambos casos, el efecto alcanza su punto máximo entre los 9 y 18 meses, y disminuye al acercarse a la madurez.

Las diferencias radican principalmente en la magnitud y momento del efecto: Robison et al. (1980) observaron un máximo del 5 % a los 18 meses, mientras que Handcock et al. (2019) reportaron 3,6 % a los 9 meses. Además, el primero fue un estudio experimental con razas como Ayrshire, Brown Swiss y Holstein, mientras que el segundo se basó en datos de campo con razas Holstein-Friesian, Jersey y sus cruza, en un sistema pastoril neozelandés.

Ambos trabajos confirman que el cruzamiento mejora el crecimiento juvenil, aunque su impacto disminuye en la adultez. La mayor heterosis en el estudio de Robison et al. (1980) podría deberse a la mayor divergencia genética entre las razas evaluadas.

Tabla 8

Heterosis relativa (%) de peso vivo

EDAD (MESES)	ROBISON ET AL. (1980) HETEROSIS (%)	HANDCOCK ET AL. (2019) HETEROSIS (%)
6	3.0%	3.3%
9	-	3.6% (máximo en este estudio)
12	4.6%	3.5%
15	-	3.2%
18	5.0% (máximo en este estudio)	2.8%
22/30	3.5% (a los 30 meses)	2.0% (a los 22 meses)
Razas utilizadas	Ayrshire, Brown Swiss, Holstein	Holstein-Friesian (F16), Jersey (J16), F1 FxJ

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se basa en un conjunto de datos recopilados de vacas lecheras pertenecientes a productores del Instituto Nacional para el Control y Mejoramiento Lechero (MU), incluyendo información productiva, reproductiva y genealógica. Los datos fueron proporcionados en formato de planilla electrónica (“pesoslact”) y contiene información estructurada en columnas que incluyen los siguientes aspectos: identificación, datos genealógicos, información productiva, información reproductiva, mediciones de peso vivo, factores fijos, datos temporales e identificación de posibles inconsistencias.

A continuación, se presenta la Tabla N°9 con la descripción de las variables contenidas en la base de datos “pesoslact” y las Tablas N°10 y N°11, que presentan la codificación de la variable “laed” (lactancia-edad) y “etapalact” (etapa de lactancia).

La base de datos está compuesta por un total de 4199 observaciones correspondientes a 3355 vacas. Se realizó una primera revisión de la calidad de los datos y se cuantificaron los datos con alguna inconsistencia (Tabla N°12), quedando un total de 3576 observaciones sin marcas y 2798 animales con registros sin marcas. Esto asegura que los análisis posteriores se basen en datos depurados y de mayor calidad. A partir de este punto, todos los análisis fueron realizados considerando únicamente las 3576 observaciones sin marca.

En la Tabla N°13 se presenta la distribución por raza. Muestra una mayor proporción de observaciones correspondientes a la raza Holando, representando más de la mitad de los datos.

La distribución de los animales según el número de lactancia se presenta en la Tabla N°14. Muestra una mayor representación de vacas en las primeras lactancias, con una disminución progresiva a medida que aumenta el número de lactancias.

Esta distribución refleja la dinámica común en sistemas lecheros, donde el número de animales disminuye en lactancias más avanzadas debido a factores como el refugio, ya sea por problemas reproductivos, disminución en la producción o problemas sanitarios. El 60% de los registros son en las primeras dos lactancias, lo que evidencia que la población estudiada está compuesta principalmente por vacas jóvenes.

Del total de animales con registro sin marca de inconsistencia, la mayoría (2.173) cuentan con un único registro de peso vivo. El resto de la población presenta medidas repetidas, entre dos y cinco registros, representando el 22% (Tabla N°15).

Además, se evaluó la disponibilidad de información genealógica. La proporción de vacas con información completa (padre y madre) o parcial (solo padre o solo madre), así como aquellas sin datos filiales, se presenta en la Tabla N°16. Esta caracterización resulta relevante para la inclusión de efectos genéticos en los modelos estadísticos.

Tabla 9*Descripción de las variables en la base de datos “pesoslact”*

ENCABEZADO	DESCRIPCIÓN	COMENTARIOS
1. tambo	Nº de tambo.	
2. vaca	Nº identificador de la vaca.	
3. raza	Raza de la vaca.	
4. lact	Nº de lactancia.	
5. laed	Lactancia – Edad.	Rangos de edad aceptados dentro de cada lactancia. Ver Tabla N°10.
6. fnac	Fecha de nacimiento.	
7. fparto	Fecha de parto.	
8. fpesada	Fecha de pesada.	
9. fsec	Fecha de secado.	
10. da	Días abiertos.	
11. ltot	Producción de leche real.	
12. l305	Producción de leche a 305 días.	
13. grtot	Producción de grasa real.	
14. gr305	Producción de grasa a 305 días.	
15. prtot	Producción de proteína real.	
16. pr305	Producción de proteína a 305 días.	
17. dias_pesada	Nº de días entre la pesada de la vaca y su fecha de parto.	Calculado como: fpesada - fparto
18. dim	Largo de lactancia.	(Days in milk) Calculado como: fecha de secado - fecha de parto
19. etpalact	Etapas de lactancia.	Ver Tabla N°11.
20. peso	Registro de peso vivo.	Expresado en kilogramos.
21. edad	Edad de la vaca.	Expresada en días.
22. padre	Número identificador del padre.	
23. madre	Número identificador de la madre.	
24. marca	Datos con alguna inconsistencia.	

Tabla 10*Codificación para la variable “laed” (lactancia-edad)*

Nº LACTANCIA	CÓDIGO	EDAD (MESES)
1	1	20 – 29
	2	30 – 35
	3	36 – 41
	4	42 – 54
2	5	32 – 41
	6	42 – 47
	7	48 – 53
	8	54 – 74
3	9	42 – 59
	10	60 – 65
	11	66 – 94
4	12	42 – 71
	13	72 – 114
5	14	62 – 180
6	15	72 – 180
7	16	82 – 180
8	17	92 – 180
9	18	102 – 180

Nota. Tiempo medido en meses. 1 mes estándar = $365/12 = 30.4$ días.

Tabla 11*Codificación para la variable “etapalact” (etapa de lactancia)*

CÓDIGO	DÍAS DE LACTANCIA
1	0 – 30
2	31 – 90
3	91 – 150
4	151 – 210
5	211 - fin de la lactancia (fecha de secado)
6	Entre fin de la lactancia y +90 días (vacas secas)

Tabla 12*Cuantificación de datos con inconsistencias*

MARCA	d	O	Oxx	x	xx	xxd
N° DE REGISTROS	296	63	30	19	198	17

Nota. x = Los días en lactancia al momento de la pesada son negativos o exceden la fecha de secado en más de 90 días; d = La combinación de lactancia-edad es inconsistente, fuera de los rangos mencionados anteriormente; o = El dato es un valor extremo (outlier) dentro de cada clase de lactancia-edad.

Tabla 13*Distribución de las observaciones por raza*

1	2	22	26	27	Sin asignar
2242	897	74	14	309	40

Nota. 1: Holando, 2: Jersey, 22: Sueca roja y blanca, 26: Indefinido, 27: Cruza lechera

Tabla 14*Distribución de las observaciones por lactancia*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1227	920	695	367	210	108	35	11	3

Tabla 15*Distribución de animales por número de registros*

N° DE REGISTROS	1	2	3	4	5
ANIMALES	2173	505	94	19	7

Tabla 16*Información de pedigree*

PADRE Y MADRE	SOLO PADRE	SOLO MADRE	SIN INFORMACIÓN
1306 (47%)	1113 (40%)	142 (5%)	237 (8%)

Con el propósito de evaluar el efecto de diferentes variables sobre el peso vivo de las vacas, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis. Esta prueba fue seleccionada debido a que no requiere asumir normalidad en la distribución de los datos, y resulta adecuada para comparar la mediana de una variable cuantitativa entre múltiples grupos

independientes. En una primera instancia, se analizó el efecto de la raza considerando la totalidad de los registros disponibles. Posteriormente, dado que la raza Holando representa la mayoría de las observaciones en la base de datos, los análisis correspondientes al número de lactancia, tambo, etapa de lactancia y grupo lactancia–edad se realizaron exclusivamente dentro de esta población. Además, se evaluó el efecto del grupo contemporáneo definido como la combinación entre tambo y fecha de pesada, con el objetivo de considerar simultáneamente la influencia del establecimiento y las condiciones particulares de cada jornada de medición.

Para profundizar en la interpretación de los efectos significativos detectados por el análisis de varianza no paramétrico, se calcularon las medias ajustadas o medias de mínimos cuadrados (Least Squares Means, también conocidas como EMMEANS, por Estimated Marginal Means) para las variables categóricas lactancia, grupo lactancia–edad y etapa de lactancia. Estas medias se estimaron a partir de modelos lineales generalizados, utilizando como variable dependiente el peso vivo. Cada modelo incluyó únicamente la variable categórica correspondiente como efecto fijo. El cálculo de las EMMEANS se realizó estableciendo un nivel de confianza del 95% para los intervalos de confianza de cada media ajustada.

Posteriormente, se aplicaron comparaciones múltiples entre niveles de cada factor mediante el procedimiento de contrastes por pares, empleando el método de Tukey para el ajuste de los valores *p*. Esta corrección es apropiada para realizar múltiples comparaciones en simultáneo sin incrementar la probabilidad de cometer error tipo I, y permite determinar qué niveles presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

Para estimar los parámetros genéticos asociados al peso vivo (PV), se utilizó el programa `thrgibbs1f90`, parte del paquete `BLUPF90` desarrollado en la Universidad de Georgia (Estados Unidos). Este software implementa modelos mixtos bajo un enfoque bayesiano, que combina información previa (*a priori*) con la proveniente de los datos observados, mediante el algoritmo de muestreo de Gibbs (Misztal et al., 2022).

Los datos (1844 observaciones de peso vivo de vacas Holando) fueron codificados conforme al formato requerido por el software, e incluyeron un archivo con las observaciones fenotípicas (`datos.TXT`), un archivo genealógico (`gen.TXT`) y un archivo de parámetros (`parampv.txt`), donde se especificaron el número de efectos, los niveles de cada efecto, su tipo (fijo o aleatorio) y los valores de varianza iniciales, obtenidos de la literatura o corridas anteriores.

Se consideró un modelo univariado de medidas repetidas, con el PV como única variable dependiente, que incluyó tanto efectos fijos como aleatorios. Dentro de los efectos fijos se incluyeron: el grupo contemporáneo definido por la combinación de tambo y fecha de pesada (96 niveles), la combinación lactancia–edad (14 niveles) y la etapa de lactancia (6 niveles). Los efectos aleatorios considerados fueron: el efecto genético aditivo del animal (2371 niveles), basado en la matriz de parentesco generada a partir del archivo genealógico, el efecto ambiental permanente (1610 niveles), que representa la variación no genética que se repite entre mediciones del mismo animal y el

efecto residual. Este modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$PV = (\text{rodeo} - \text{fecha de pesada}) + \text{laed} + \text{etapalact} + \text{animal} + \text{efecto permanente} + \text{error}$$

El modelo asume que los efectos aleatorios (animal, efecto permanente y residual) son independientes entre sí, con media cero y varianzas $A\sigma_a^2$ (A=matriz de parentesco entre animales), σ_{EP}^2 , y σ_R^2 , respectivamente.

El objetivo del análisis fue estimar tres componentes de varianza asociadas al PV en vacas lecheras: la varianza genética aditiva (V_A), la varianza ambiental permanente (V_{EP}) y la varianza residual (V_R). La suma de estas tres, constituye la varianza fenotípica total del peso vivo (V_P), de manera que:

$$VP = V_A + V_{EP} + V_R$$

A partir de esta descomposición, se calcularon dos parámetros genéticos de interés, la heredabilidad (h^2) y la repetibilidad (r):

$$h_2 = V_A / V_P$$

$$r = (V_A + V_{EP}) / V_P$$

Una vez definido el modelo y cargados los archivos correspondientes, se procedió a la ejecución del programa `thrgibbs1f90`, utilizando el algoritmo de muestreo de Gibbs para generar las distribuciones posteriores de los parámetros de varianza. En total, se realizaron 500.000 iteraciones, de las cuales se descartaron las primeras 100.000 (fase de “burn-in”, durante la cual el modelo aún no ha alcanzado su estabilidad), y se retuvo una muestra cada 200 iteraciones subsiguientes, con el fin de garantizar independencia entre observaciones. De esta manera, se obtuvieron 2000 muestras independientes para cada componente de varianza: genética aditiva, ambiental permanente y residual.

Estas muestras fueron exportadas en una planilla (`params.xlsx`), la cual contiene cinco columnas: número de muestra, número de parámetros estimados (siempre tres), varianza aditiva, varianza de efectos permanentes y varianza residual. A partir de estas, se calcularon los valores de varianza fenotípica, heredabilidad y repetibilidad para cada una de las 2000 muestras independientes. Posteriormente, se obtuvo el promedio de cada parámetro y se estimaron los percentiles 5 y 95, comúnmente utilizados en estadística bayesiana para describir el rango de credibilidad de las estimaciones.

Todos los análisis estadísticos descriptivos y comparativos, incluyendo las pruebas de Kruskal-Wallis, el ajuste de modelos lineales generalizados para la estimación de medias ajustadas (EMMEANS), las comparaciones múltiples con corrección de Tukey, así como el procesamiento de las muestras generadas por el muestreo de Gibbs (cálculo de varianza fenotípica, heredabilidad y repetibilidad, junto con sus promedios y percentiles 5 y 95), fueron realizados en el entorno estadístico R. Con el fin de garantizar la transparencia y reproducibilidad de los análisis realizados, el Apéndice D presenta el código completo utilizado para el procesamiento, modelado y análisis estadístico de los datos.

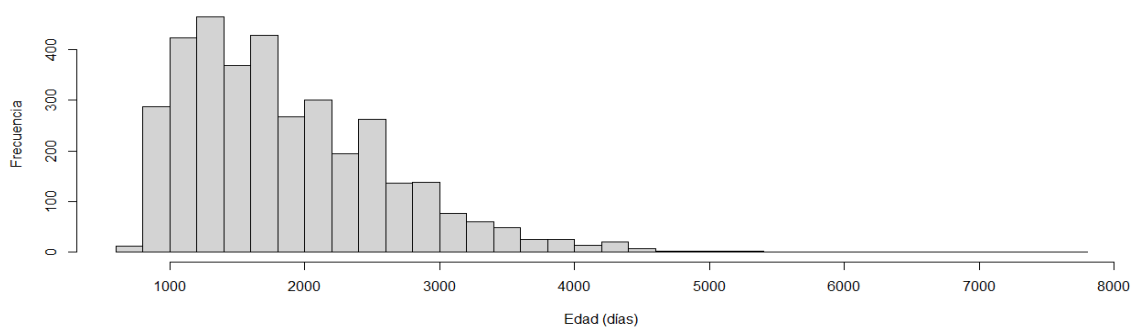
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La Figura N°2 muestra la distribución de las edades de los animales, en días, al momento de la toma de los registros. La mayoría de las observaciones corresponden a animales en un rango de edades entre 1000 y 2000 días, con una frecuencia máxima registrada entre los 1200 y 1400 días, lo que equivale aproximadamente a vacas de 3 a 4 años.

Figura 2

Distribución de edades de los animales a la toma de registros

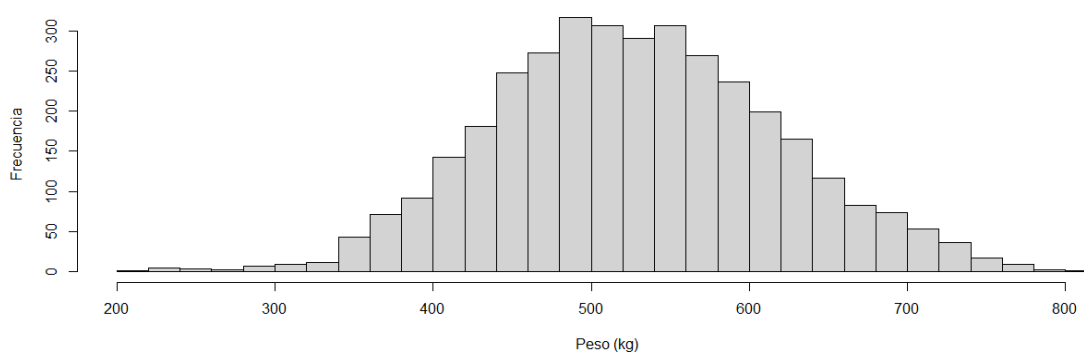


Conforme aumenta la edad, la frecuencia disminuye gradualmente, mostrando una distribución asimétrica hacia la derecha. Esto sugiere que la mayoría de los registros corresponden a animales jóvenes o adultos en etapas productivas, mientras que la proporción de animales mayores es significativamente menor.

La distribución de pesos corporales de vacas lecheras, en kilogramos, al momento de la toma de los registros se muestra en la Figura N°3. La distribución tiene una forma simétrica y sigue un patrón aproximadamente normal, con la mayor frecuencia de animales en el rango de 500 a 600 kg, alcanzando su pico alrededor de los 550 kg y siendo el peso promedio de la población de 529 kg.

Figura 3

Distribución de pesos de los animales a la toma de registros



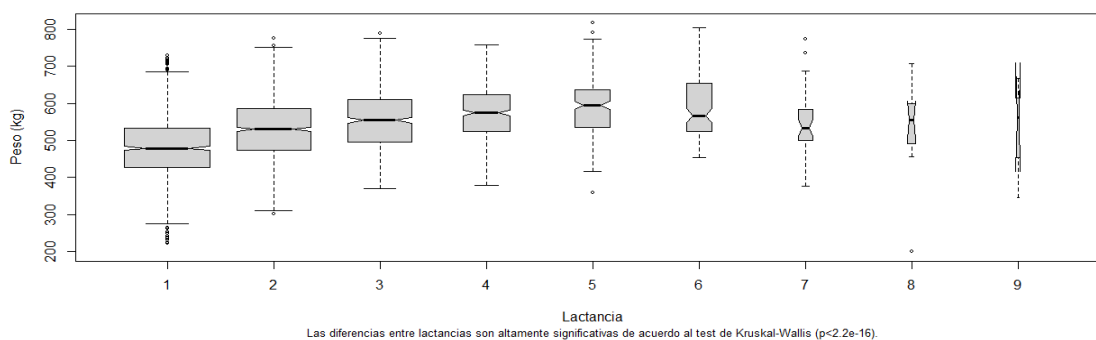
A medida que los pesos se alejan del promedio, tanto hacia valores menores como mayores, la frecuencia de animales disminuye gradualmente. Los pesos más bajos, cercanos a los 200 kg, y los más altos, cerca de los 800 kg, son menos comunes en la población estudiada.

Esta distribución refleja la diversidad de pesos en un grupo de vacas lecheras, influida por factores como edad, genética, estado fisiológico y nivel de producción. Los valores más altos de frecuencia corresponden a animales en plena etapa productiva, que son típicamente el foco principal en sistemas lecheros.

La Figura N°4 muestra la distribución del peso vivo (PV) de las vacas según el número de lactancia. Se observa una tendencia creciente en la mediana del PV desde la primera hasta la tercera lactancia (481 kg, 533 kg y 557 kg en promedio respectivamente), seguida por una estabilización en las lactancias posteriores, con valores promedios cercanos a 580 kg. Este comportamiento refleja la maduración fisiológica de los animales durante sus primeros ciclos productivos, donde se completa el desarrollo corporal. En las lactancias más avanzadas, de la séptima en adelante, se observa una leve disminución del PV, aunque con menor número de observaciones, lo que limita la interpretación de posibles patrones.

Figura 4

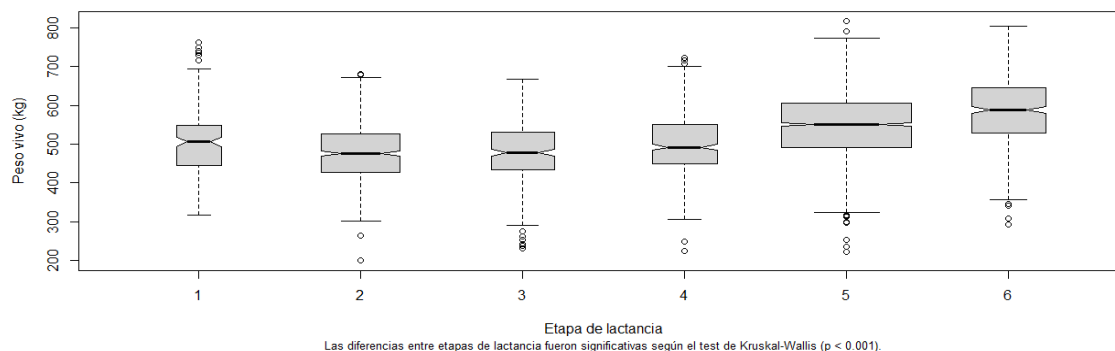
Distribución de peso vivo por lactancia



La distribución del peso vivo (PV) de las vacas según la etapa de lactancia se muestra en la Figura N°5. Se observa que el PV presenta variaciones marcadas a lo largo del ciclo productivo. En la primera etapa (0–30 días posparto), el peso promedio fue de aproximadamente 509 kg, mientras que en la segunda (31–90 días) y tercera etapa (91–150 días) se registraron valores más bajos (480 kg y 482 kg, respectivamente), lo que refleja la pérdida de condición corporal típica del inicio de la lactancia, cuando la demanda energética de la producción lechera supera a la ingesta. A partir de la cuarta etapa (151–210 días), el peso comienza a incrementarse nuevamente, alcanzando un promedio de 498 kg, y se observa un marcado aumento en la quinta (211 días hasta secado) y sexta etapa (período seco), donde los valores promedios fueron de 550 kg y 586 kg, respectivamente. Este comportamiento confirma la relación fisiológica entre el balance energético negativo en el inicio de la lactancia y la recuperación progresiva del

peso corporal en las etapas posteriores, siendo coherente con la dinámica productiva y reproductiva de las vacas lecheras.

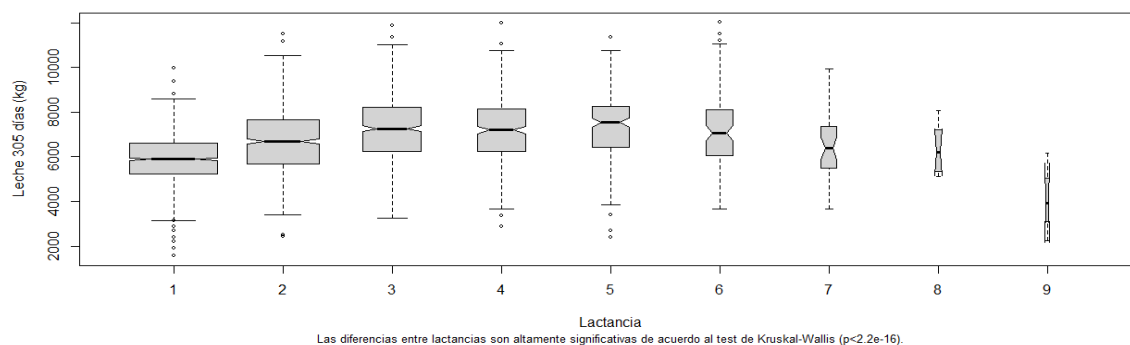
Figura 5
Distribución de peso vivo por etapa de lactancia



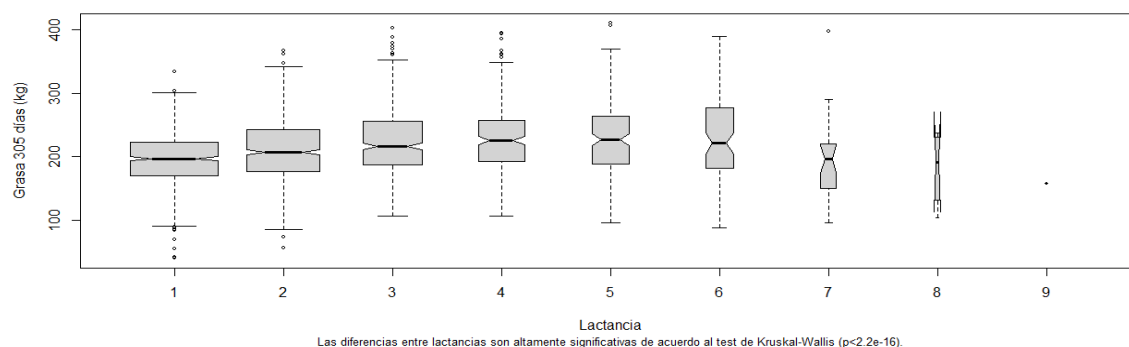
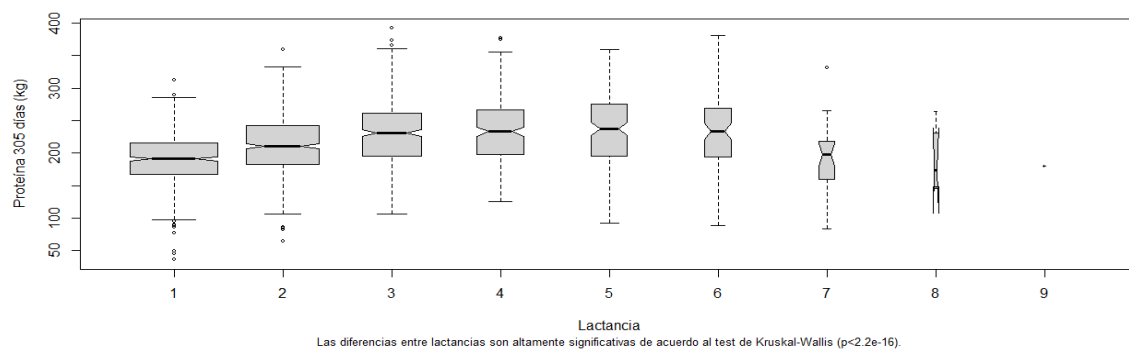
En cuanto a la producción, las Figuras N°6, N°7 y N°8 presentan la distribución de la producción de leche, grasa y proteína a 305 días por número de lactancia. En las tres variables se observa un patrón de incremento progresivo de la mediana desde la primera lactancia, alcanzando valores máximos en la quinta lactancia, seguidos por una tendencia a la estabilización o leve disminución en las lactancias posteriores. Este comportamiento coincide con lo esperado, ya que las vacas tienden a alcanzar su mayor potencial productivo en los primeros ciclos, mientras que en lactancias más avanzadas pueden verse afectadas por el desgaste fisiológico acumulado.

La producción promedio de leche a 305 días aumentó desde 5.905 kg en la primera lactancia hasta un máximo de 7.349 kg en la quinta, disminuyendo en las siguientes lactancias. La producción de grasa y proteína mostraron el mismo comportamiento, pasando de 197 kg y 191 kg respectivamente en la primera lactancia, a un pico de 229 kg y 235 kg respectivamente en la quinta, con descensos posteriores. En la Tabla N°17 se muestran los valores promedios por lactancia para las variables mencionadas.

Figura 6
Distribución de producción de leche a 305 días por lactancia



Nota. Observaciones con dato de producción mayor a cero.

Figura 7*Distribución de producción de grasa a 305 días por lactancia**Nota.* Observaciones con dato de producción mayor a cero.**Figura 8***Distribución de producción de proteína a 305 días por lactancia**Nota.* Observaciones con dato de producción mayor a cero.

La Figura N°9 corresponde a los días transcurridos entre el parto y la toma del registro de peso vivo, según el número de lactancia. Esta variable es fundamental para interpretar el peso registrado, ya que el estado fisiológico del animal cambia significativamente a lo largo del ciclo de lactancia (desde el balance energético negativo postparto hasta etapas de recuperación), afectando el peso corporal. La mediana se mantiene relativamente constante entre lactancias, pero con mayor dispersión en los primeros ciclos. Esta variabilidad podría estar asociada a diferencias en el manejo del registro en vacas jóvenes, o a mayor heterogeneidad fisiológica durante los primeros ciclos productivos.

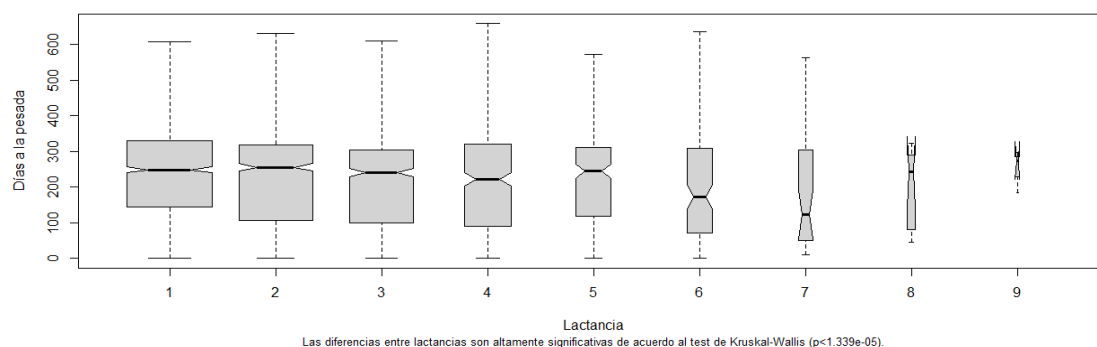
Tabla 17

Valores promedio de producción de leche, grasa y proteína a 305 días por lactancia

LACTANCIA	LECHE (KG)	GRASA (KG)	PROTEÍNA (KG)
1	5.905	197	191
2	6.699	212	213
3	7.249	221	230
4	7.286	228	234
5	7.349	229	235
6	7.102	227	228
7	6.417	194	191
8	6.344	181	189
9	4.113	158	180

Figura 9

Distribución de días a la pesada por lactancia



El análisis del promedio de días a la pesada (Tabla N°18) mostró que la pesada tiende a realizarse entre los 194 y 275 días posparto, indicando que los registros tienden a concentrarse en una fase media a tardía de la lactancia. Este momento del ciclo productivo se ubica posterior al pico de producción, que ocurre típicamente entre los 40 y 70 días posparto, y coincide con una etapa donde el animal ya ha superado el balance energético negativo inicial y ha comenzado a recuperar peso corporal. En esta fase, la producción de leche ha comenzado a descender progresivamente, mientras que la condición corporal del animal mejora, lo que podría explicar los valores relativamente altos de peso vivo observados en los registros.

Tabla 18*Promedio de días a la pesada por lactancia*

LACTANCIA	PROMEDIO DÍAS A LA PESADA
1	255
2	247
3	222
4	224
5	239
6	206
7	275
8	194
9	252

En los boxplots de las Figuras N°4 a N°9, se aprecia una dispersión considerable dentro de cada grupo de lactancia, manifestada por la amplitud de los rangos intercuartílicos y la presencia de outliers. Esta variabilidad sugiere una población con alta heterogeneidad genética y ambiental, lo que es característico en sistemas productivos reales y debe ser tenido en cuenta al modelar las características productivas y fisiológicas.

Las diferencias observadas entre lactancias fueron estadísticamente significativas para todas las variables analizadas, según los test de Kruskal-Wallis realizados ($p < 0.001$ en todos los casos). Estos resultados respaldan firmemente la inclusión del número de lactancia como efecto fijo en los modelos estadísticos de análisis. Dicha inclusión no solo permite capturar parte de la variabilidad estructural del sistema, sino que mejora la precisión de las estimaciones genéticas y la interpretación biológica de los resultados. Incorporar este efecto es especialmente importante cuando se pretende utilizar variables como el peso vivo en esquemas de selección, ya que permite ajustar por diferencias sistemáticas debidas a la etapa productiva del animal.

4.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

El test de Kruskal-Wallis realizado en primera instancia mostró diferencias altamente significativas entre los distintos grupos raciales presentes en la base de datos ($p < 2.2 \cdot 10^{-16}$), evidenciando que el peso corporal varía según la raza.

Como fue mencionado anteriormente, dado este resultado, y considerando que la raza Holando representa la mayoría de los registros disponibles, el resto de los análisis se enfocaron exclusivamente en esta población. Dentro de esta raza, se observó efecto significativo sobre el peso vivo para las variables tambo, número de lactancia, grupo

lactancia–edad y etapa de lactancia.

Adicionalmente, se evaluó el efecto del grupo contemporáneo definido como la combinación entre tambo y fecha de pesada. Esta variable también presentó diferencias altamente significativas en el peso vivo, lo que sugiere una influencia conjunta del establecimiento y las condiciones específicas de cada jornada de registro sobre la variabilidad del peso corporal.

En la Tabla N°19 se resumen los resultados de todos los test de Kruskal-Wallis realizados para la población Holando, mostrando el valor de χ^2 , grados de libertad, valor p y nivel de significancia. Estos resultados confirman que, incluso dentro de la raza Holando, el peso vivo se ve afectado por todas las variables mencionadas, justificando su consideración como efectos en los modelos estadísticos posteriores, a fin de lograr una estimación más precisa del peso corporal y su posible inclusión en esquemas de mejoramiento genético.

Tabla 19

Efecto de variables categóricas sobre el peso vivo en vacas Holando

VARIABLE	χ^2	GL (DF)	VALOR P	SIGNIFICANCIA
Tambo	949.52	38	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Número de lactancia	455.32	8	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Grupo lactancia-edad	663.78	17	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Etapa de lactancia	351.87	5	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Tambo-Fecha de pesada	2002.7	470	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***

Nota. ***: $p < 0.001$. Se utilizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

En las tablas N°20, N°21 y N°22 se presentan las medias ajustadas (emmeans) para los efectos de lactancia, grupo lactancia-edad y etapa de lactancia, con sus respectivos errores estándar, grados de libertad y límites del intervalo de confianza al 95%. Estos valores permiten visualizar tendencias generales en el peso vivo ajustado de las vacas en los distintos niveles de los factores analizados.

En cuanto al efecto del número de lactancia, se observa un aumento progresivo del peso medio desde la primera lactancia (481 kg) hasta la quinta (588 kg), momento en el que se alcanza el mayor valor. A partir de la sexta lactancia, el peso tiende a estabilizarse, sin incrementos significativos, e incluso descendiendo en las últimas lactancias. Este patrón es coherente con el desarrollo físico de las vacas, que alcanzan su madurez estructural alrededor del cuarto o quinto parto, seguido de una meseta productiva.

Tabla 20*Medias de mínimos cuadrados para el efecto de lactancia*

LACTANCIA	EMMEAN	SE	DF	LOWER CL	UPPER CL	ESTADÍSTICO T	P VALUE
1	481	2.32	3567	476	485	207.347	<.0001
2	533	2.68	3567	527	538	198.931	<.0001
3	557	3.08	3567	551	563	180.782	<.0001
4	576	4.24	3567	568	584	135.896	<.0001
5	588	5.6	3567	578	599	105.009	<.0001
6	584	7.81	3567	569	600	74.759	<.0001
7	546	13.7	3567	519	573	39.795	<.0001
8	538	24.5	3567	490	586	21.986	<.0001
9	526	46.9	3567	434	618	11.211	<.0001

Nota. Nivel de confianza: 0.95.

Las comparaciones múltiples realizadas mediante el método de Tukey (ver Apéndice C) permiten establecer cuáles de estas diferencias son estadísticamente significativas. En el caso del número de lactancia, se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre la primera lactancia y todas las siguientes hasta la séptima. Sin embargo, a partir de la tercera lactancia, las diferencias entre niveles consecutivos tienden a ser menores y no siempre significativas. Las lactancias 4, 5 y 6 presentan medias similares (rango: 576–584 kg), y sus comparaciones no fueron estadísticamente significativas, lo que indica una estabilización en el peso alcanzado a partir del cuarto parto.

En el grupo lactancia-edad se evidencia un patrón más variable, aunque nuevamente se observa un aumento del peso hasta los grupos intermedios (como el grupo 13, con 588 kg) y una ligera disminución posterior. Las diferencias significativas fueron especialmente marcadas entre los primeros grupos, lo cual respalda la idea de un crecimiento estructural significativo entre los primeros ciclos reproductivos.

Finalmente, para el efecto de la etapa de lactancia, las vacas en etapa 1 presentaron un peso promedio de 509 kg. Este peso fue disminuyendo hasta la etapa 3, y a partir de allí, comienza a aumentar hasta la etapa 6 donde alcanza el mayor peso promedio (586 kg). Las comparaciones múltiples mediante el test de Tukey (Tabla N°23) indicaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las combinaciones entre etapas. Estos resultados reflejan el impacto fisiológico del ciclo productivo sobre el peso corporal: en las primeras etapas posparto, el animal enfrenta una alta demanda energética asociada a la producción láctea y balance negativo de energía, lo cual se manifiesta en

una disminución de peso, atribuible a la movilización de reservas corporales. Posteriormente, a medida que se aproxima el final de la lactancia y se transita hacia el período seco, la recuperación del estado corporal y el descenso en las demandas metabólicas se traducen en un aumento progresivo del peso vivo.

En conjunto, estos resultados permiten concluir que el peso vivo ajustado de las vacas muestra diferencias estadísticamente significativas asociadas a la lactancia, la edad y el estado fisiológico dentro del ciclo productivo, y que las medias ajustadas ofrecen una herramienta robusta para entender estos efectos.

Tabla 21

Medias de mínimos cuadrados para el efecto de lactancia-edad

LACTANCIA-EDAD	EMMEAN	SE	DF	LOWER CL	UPPER CL	ESTADÍSTICO T	P VALUE
1 (lact. 1, 20-29 meses)	458	3.12	3558	452	464	146.733	<.0001
2 (lact. 1, 30-35 meses)	497	4.23	3558	488	505	117.464	<.0001
3 (lact. 1, 36-41 meses)	523	6.62	3558	510	536	78.997	<.0001
4 (lact. 1, 42-54 meses)	511	7.93	3558	495	526	64.414	<.0001
5 (lact. 2, 32-41 meses)	502	4.61	3558	493	511	109.024	<.0001
6 (lact. 2, 42-47 meses)	534	4.74	3558	525	544	112.768	<.0001
7 (lact. 2, 48-53 meses)	548	5.69	3558	537	559	96.303	<.0001
8 (lact. 2, 54-74 meses)	567	6.27	3558	555	580	90.416	<.0001
9 (lact. 3, 42-59 meses)	547	4.46	3558	538	556	122.526	<.0001
10 (lact. 3, 60-65 meses)	562	6.66	3558	549	575	84.357	<.0001
11 (lact. 3, 66-94 meses)	567	5.06	3558	557	576	111.994	<.0001
12 (lact. 4, 52-71 meses)	557	6.57	3558	544	570	84.796	<.0001
13 (lact. 4, 72-114 meses)	588	5.28	3558	578	599	111.399	<.0001
14 (lact. 5, 62-180 meses)	588	5.44	3558	578	599	108.143	<.0001
15 (lact. 6, 72-180 meses)	584	7.59	3558	569	599	76.991	<.0001
16 (lact. 7, 82-180 meses)	546	13.3	3558	520	572	40.983	<.0001
17 (lact. 8, 92-180 meses)	538	23.8	3558	492	585	22.642	<.0001
18 (lact. 9, 102-180 meses)	526	45.5	3558	436	615	11.546	<.0001

Nota. Nivel de confianza: 0.95

Tabla 22*Medias de mínimos cuadrados para el efecto de etapa de lactancia*

ETAPA DE LACTANCIA	EMMEAN	SE	DF	LOWER CL	UPPER CL	ESTADÍSTICO T	P VALUE
1 (0-30 días)	509	5.95	3570	497	520	85.475	<.0001
2 (31-90 días)	480	3.42	3570	473	487	140.267	<.0001
3 (91-150 días)	482	4.28	3570	474	491	112.744	<.0001
4 (151-210 días)	498	4.15	3570	490	507	120.151	<.0001
5 (211-fin de lactancia)	550	2.08	3570	546	554	264.713	<.0001
6 (fin de lactancia-+90 días)	586	3.63	3570	579	593	161.307	<.0001

Nota. Nivel de confianza: 0.95

Tabla 23*Análisis de comparaciones múltiples (método de Tukey) para el efecto de la etapa de lactancia*

ETAPA DE LACTANCIA	1	2	3	4	5	6
1	xx	28.84***	26.52***	ns	-40.90***	-77.44***
2		xx	ns	-18.58***	-69.74***	-106.28***
3			xx	ns	-67.42***	-103.96***
4				xx	-51.16***	-87.71***
5					xx	-36.55***
6						xx

Nota. ***: $p < 0.0001$, ns: no significativo

4.3 PARÁMETROS GENÉTICOS

En la Tabla N°24 se presentan los valores medios, junto con los percentiles 5 y 95, de los parámetros genéticos estimados para el peso vivo: varianza fenotípica (V_p), heredabilidad (h^2) y repetibilidad (r).

La varianza fenotípica media fue de 3316.4, con un rango entre 3119.9 y 3524.5, lo que refleja la magnitud total de variación del peso vivo en la población estudiada, producto de la combinación de componentes genéticos, ambientales permanentes y

residuales.

Tabla 24

Parámetros genéticos (V_P , h^2 y r) y sus estimaciones

PARÁMETRO	MEDIA	P5	P95
V_P	3316.426	3119.875	3524.500
h^2	0.593	0.473	0.692
r	0.778	0.731	0.817

Nota. La tabla presenta el promedio, el percentil 5 y el percentil 95 de las estimaciones obtenidas para la varianza fenotípica (V_P), la heredabilidad (h^2) y repetibilidad (r).

La heredabilidad media fue de 0.593, con un rango de credibilidad del 90% comprendido entre 0.473 y 0.692. Este valor sugiere que una proporción importante de la variabilidad observada en el peso vivo se debe a diferencias genéticas aditivas entre los animales, lo que indica un buen potencial de respuesta a la selección para este carácter.

La repetibilidad presentó una media de 0.778, con percentiles 5 y 95 de 0.731 y 0.817, respectivamente. Este valor elevado indica que, además de la componente genética, el efecto ambiental permanente también contribuye de forma significativa a la variación observada entre mediciones sucesivas en un mismo individuo. En consecuencia, una sola medición del peso puede ser representativa del desempeño del animal a lo largo del tiempo.

La Figura N°10 muestra la evolución de los valores de heredabilidad (h^2) a lo largo de las 2000 muestras independientes generadas. Se observa que los valores de h^2 se mantienen dentro de un rango estable y no presentan tendencias sistemáticas, lo cual indica que la cadena alcanzó la convergencia y que las muestras son representativas de la distribución posterior. Esta estabilidad permite confiar en los estadísticos derivados, como el promedio, el percentil 5 y el percentil 95, utilizados para describir la heredabilidad del peso vivo en la población analizada.

La distribución posterior del parámetro de heredabilidad (h^2) se representa en la Figura N°11, mediante un histograma de frecuencias relativas acompañado por su correspondiente curva de densidad (línea roja). La distribución es aproximadamente simétrica y unimodal, con una mayor densidad de valores en torno a 0.60, lo cual coincide con el valor promedio estimado (0.593).

Las líneas punteadas en azul indican los percentiles 5 (0.473) y 95 (0.692), que definen el intervalo de credibilidad del 90% para la estimación de h^2 . Este intervalo describe el rango dentro del cual se concentra la mayoría de los valores, proporcionando una medida de precisión y confiabilidad del modelo.

La forma de la distribución es coherente con una posterior bien comportada, lo

que respalda la validez del modelo aplicado y otorga solidez a las estimaciones obtenidas para este parámetro genético.

Figura 10

Evolución de la heredabilidad (h^2) durante el muestreo

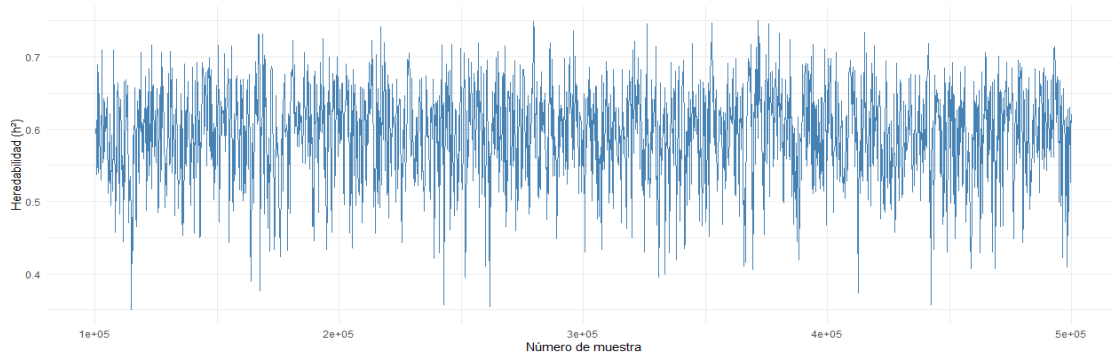
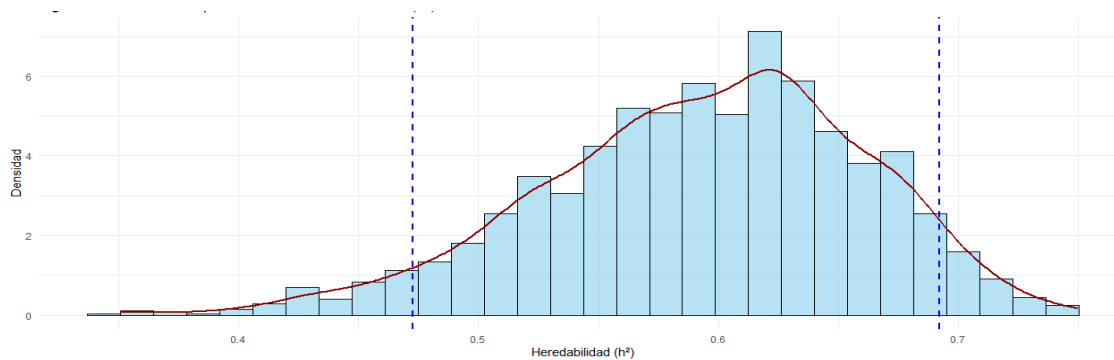


Figura 11

Distribución posterior de la heredabilidad (h^2)



5. CONCLUSIÓN

El peso vivo (PV) en vacas lecheras constituye un rasgo de gran relevancia económica, ya que influye directamente tanto en los ingresos como en los costos de producción, a través de su impacto sobre la eficiencia alimenticia, la producción de leche y la vida productiva de los animales. En este estudio se determinó que el PV está significativamente influenciado por efectos ambientales, particularmente el grupo contemporáneo, la combinación lactancia–edad y la etapa de lactancia, lo que resalta la importancia de un manejo adecuado y de registros precisos para controlar estas fuentes de variación no genética.

Los resultados del análisis genético indican que el PV presenta una alta heredabilidad ($h^2 = 0,593$) y alta repetibilidad ($r = 0,778$), lo cual refleja que gran parte de la variación fenotípica se debe a la variación genética aditiva y que las mediciones son consistentes a lo largo del tiempo para un mismo animal. Estas características sugieren que el PV puede responder de manera efectiva a programas de selección genética, permitiendo obtener ganancias sostenidas en el largo plazo.

En consecuencia, la inclusión del PV como criterio de selección en programas de mejoramiento genético, junto con la consideración de los efectos ambientales identificados, representa una estrategia viable para optimizar la eficiencia productiva y económica en sistemas lecheros.

Desde el punto de vista de nuestro compromiso social y profesional como futuros agrónomos, entendemos que el presente trabajo pone de manifiesto un desafío adicional: el mejoramiento genético y productivo de los sistemas lecheros depende en gran medida de la solidez y coherencia de los registros en cada establecimiento. La calidad de los datos que se incorporen en los modelos determina el impacto real de las estrategias propuestas, ya sea a nivel de predio o de región. En este sentido, nos corresponde promover en los productores la importancia de instaurar y mantener sistemas de registro metódicos y sostenidos, que deben ser concebidos no como un gasto administrativo, sino como una inversión estratégica que permite maximizar beneficios y reducir riesgos. Nuestra tarea como profesionales será transmitir y demostrar los beneficios concretos que estos registros aportan a la gestión productiva, contribuyendo así a un sistema lechero más profesional, eficiente y sostenible.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahlborn, G., & Dempfle, L. (1992). Genetic parameters for milk production and body size in New Zealand Holstein-Friesian and Jersey. *Livestock Production Science*, 31(3-4), 205-219. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(92\)90018-Y](https://doi.org/10.1016/0301-6226(92)90018-Y)
- Alderman, G., & Cottrill, B. R. (Comps.). (1993). *Energy and protein requirements of ruminants: An advisory manual prepared by the Agricultural and Food Research Council Technical Committee on Responses to Nutrients*. CAB International. <https://doi.org/10.1079/9780851988511.0000>
- Banos, G., & Coffey, M. P. (2012). Prediction of liveweight from linear conformation traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(4), 2170-2175. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4838>
- Bartaburu, D., & Majó, E. (2002). Impacto sobre la lechería uruguaya. *Revista Plan Agropecuario*, (103), 30-34.
- Basarab, J. A., Price, M. A., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Snelling, W. M., & Lyle, K. L. (2003). Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(2), 189-204.
- Bauman, D. E., & Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, 63(9), 1514-1529. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83111-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83111-0)
- Bavera, G. A. (2005). *Escala de tamaño, estructura corporal o frame score*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/frame%20score/11-tamano_o_frame.pdf
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2002). Genetic parameters for level and change of body condition score and body weight in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 2030-2039. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74280-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74280-X)

- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2003a). Genetic parameters for body condition score, body weight, milk yield, and fertility estimated using random regression models. *Journal of Dairy Science*, 86(11), 3704-3717. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73976-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73976-9)
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2003b). Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2193-2204. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73809-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73809-0)
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., & Veerkamp, R. F. (2004). Genetic relationships among linear type traits, milk yield, body weight, fertility, and somatic cell count in primiparous dairy cows. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 43(2), 161-176.
- Berry, D. P., Evans, R. D., & Kelleher, M. M. (2021). Prediction of genetic merit for live weight and body condition score in dairy cows using routinely available linear type and carcass data. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6885-6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20154>
- Berry, D. P., Horan, B., & Dillon, P. (2005). Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Science*, 80, 151-160.
- Bourdon, R. M. (1999). *Understanding animal breeding* (2nd ed.). Pearson.
- Chiesa, M., & Del Campo, M. (2011). *Sector lácteo uruguayo: Situación actual e incidencia del mercado internacional* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Clasen, J. B., Norberg, E., Madsen, P., Pedersen, J., & Kargo, M. (2017). Estimation of genetic parameters and heterosis for longevity in crossbred Danish dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6337-6342. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12627>

- Coffey, M. P., Hickey, J., & Brotherstone, S. (2006). Genetic aspects of growth of Holstein-Friesian dairy cows from birth to maturity. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 322-329. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72097-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72097-5)
- Custodio Prados, D. (2022). *Efectos del incremento de carga en variables bioeconómicas en sistemas de producción de leche* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Denise, K., & Brinks, S. (1985). Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *Journal of Animal Science*, 61(6), 1431-1440.
- Di Marco, O. N. (2007). *Conceptos de crecimiento aplicados a la producción de carne*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externior/19-conceptos_de_crecimiento.pdf
- Dickerson, G. E. (1969). Experimental approaches in utilizing breed resources. *Animal Breeding Abstracts*, 37, 191-202.
- Domínguez-Viveros, J., Rodríguez-Almeida, F. A., Núñez-Domínguez, R., Ramírez-Valverde, R., Ortega-Gutiérrez, J. A., & Ruiz-Flores, A. (2013). Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos tropicarne. *Agrociencia (Uruguay)*, 47(1), 25-34.
- Falconer, D. S. (1981). *Introduction to quantitative genetics* (2nd ed.). Longman.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Longman.
- Fariña, S. R., & Chilibroste, P. (2019). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*, 176, Artículo e102631. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.001>
- Fitzhugh, H. A. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42(4), 1036-1051.

- Gregory, K. E., & Cundiff, L. V. (1980). Crossbreeding in beef cattle: Evaluation of systems. *Journal of Animal Science*, *51*(5), 1224-1242.
<https://doi.org/10.2527/jas1980.5151224x>
- Hammond, J. (1959). *Avances en fisiología zootécnica*. Acribia.
- Handcock, R. C., López-Villalobos, N., McNaughton, L. R., Back, P. J., Edwards, G. R., & Hickson, R. E. (2019). Live weight and growth of Holstein-Friesian, Jersey and crossbred dairy heifers in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *62*(2), 173-183.
<https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1465984>
- Helman, C. G. (1984). *Culture, health and illness: An introduction for health professionals*. Butterworth-Heinemann.
- Hemme, T., Uddin, M. M., & Ndambi, O. A. (2014). Benchmarking cost of milk production in 46 countries. *Journal of Reviews on Global Economics*, *3*, 254-270.
- Hernández, A. (2011). Complejo lechero. En M. Vasallo (Ed.), *Dinámica y competencia intrasectorial en el agro: Uruguay 2000-2010* (pp. 53-70). Universidad de la República.
- Instituto Nacional de la Leche. (s.f.). *Uruguay lechero*. <https://www.inale.org/uruguay-lechero>
- Jönsson, R. (2015). *Estimation of heterosis and performance of crossbred Swedish dairy cows* [Tesis de maestría]. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Kargo, M., Clasen, J. B., Nielsen, H. M., Byskov, K., & Norberg, E. (2021). Heterosis and breed effects for milk production and udder health traits in crosses between Danish Holstein, Danish Red, and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*, *104*(1), 678-682. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17866>
- Kinghorn, B. P. (1980). The expression of "recombination loss" in quantitative traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, *97*(1-4), 138-143.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1980.tb00919.x>

- Koch, R. M., Cundiff, L. V., & Gregory, K. E. (1989). Beef cattle breed utilization. *Revista Brasileira de Genética*, 12(1), 55-80.
- Koenen, E. P. C. (2001). *Selection for body weight in dairy cattle* [Disertación doctoral, Wageningen University]. Wageningen University & Research.
<https://doi.org/10.18174/199020>
- Koenen, E. P. C., & Groen, A. F. (1998). Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. *Journal of Dairy Science*, 81(6), 1709-1713. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75738-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75738-8)
- Koenen, E. P. C., Groen, A. F., & Gengler, N. (1999). Phenotypic variation in live weight and live-weight changes of lactating Holstein-Friesian cows. *Animal Science*, 68(1), 109-114. <https://doi.org/10.1017/S135772980005013X>
- Kumar, M., Ratwan, P., & Kumar, A. (2016). Heterosis-Genetic basis and utilization for improvement of dairy cattle: A review. *Research & Reviews: Journal of Dairy Science and Technology*, 5(2), 40-50.
- Lawrence, T. L. J., & Fowler, V. R. (2002). *Growth of farm animals* (2nd ed.). CABI.
- López de Torre, G., Candotti, J. J., Reverter, A., Bellido, M. M., Vasco, P., García, L. J., & Brinks, J. S. (1992). Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *Journal of Animal Science*, 70(9), 2668-2672.
<https://doi.org/10.2527/1992.7092668x>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (1995). *Animal nutrition* (5th ed.). Acribia.
- Mendoza-Martínez, G. D., Plata-Pérez, F. X., Espinosa-Cervantes, R., & Lara-Bueno, A. (2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 75-87.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Lourenco, D. A. L., Masuda, Y., Aguilar, I., Legarra, A., & Vitezica, Z. (2022). *Manual for BLUPF90 family of programs*. University of Georgia. https://nce.ads.uga.edu/html/projects/programs/docs/blupf90_all8.pdf

- Muller, C. J. C., Cloete, S. W. P., Olivier, J. J., Botha, J. A., & De Waal, H. (2006). Heritability of live weight and condition score in a Holstein herd and correlations with milk traits: Preliminary estimates. *South African Journal of Animal Science*, 36(2), 79-88. <https://doi.org/10.4314/sajas.v36i2.3989>
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press.
- Nicholas, F. W. (1996). *Introducción a la genética veterinaria*. Acribia.
- Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. A., Price, M. A., Wang, Z., & Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 145-153.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Anuario estadístico agropecuario 2024*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/diea/anuario2024>
- Oliveira Junior, G. A., Schenkel, F. S., Alcantara, L., Houlahan, K., Lynch, C., & Baes, C. F. (2021). Estimated genetic parameters for all genetically evaluated traits in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 9002-9015. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20227>
- Owens, F. N., Dubeski, P., & Hanson, C. F. (1993). Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3138-3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>
- Posada, O. S., Rosero, N. R., Rodríguez, N., & Costa, C. A. (2011). Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nellore criado en confinamiento. *Revista MVZ Córdoba*, 16(3), 2701-2710. <https://doi.org/10.21897/rmvz.271>

- Pryce, J. E., & Harris, B. L. (2006). Genetics of body condition score in New Zealand dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4424-4432.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72490-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72490-0)
- Ramatsoma, N. I., Banga, C. B., Lehloenya, K. C., & Gibson, R. (2015). Estimation of genetic parameters for live weight in South African Holstein cattle. *Open Journal of Animal Sciences*, 5(3), 242-248.
<https://doi.org/10.4236/ojas.2015.53028>
- Rivero, M. J., Urioste, J. I., Astigarraga, L., & Rovere, G. (2012). Objetivos de selección para un sistema productivo lechero basado en pasturas, utilizando un modelo de simulación bioeconómico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 20(1-2), 37-46.
- Robison, O. W., Kelly, M. G., McDaniel, B. T., & McDowell, R. E. (1980). Genetic parameters of body size in purebred and crossbred dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 63(11), 1887-1899. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83156-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83156-0)
- Rovere de Maio, G. (2010). *Derivación de valor económico para características de producción y fertilidad en sistemas lecheros de base pastoril* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Sheridan, A. R. (1981). Crossbreeding and heterosis. *Animal Breeding Abstracts*, 49(3), 131-144.
- Shull, G. H. (1948). What is heterosis? *Genetics*, 33(5), 439-446.
- Simm, G. (1998). *Genetic improvement of cattle and sheep*. Farming Press.
- Teleken, J. T., Galvão, A. C., & Robazza, W. S. (2017). Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(1), 73-81.
- Uribe, H., & González, H. (2018). (Co)variances between cattle postpartum body weight and dairy traits in a pastoral system in Chile. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 34(3), 266-274.
<https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000605>

- Vaccaro, R., & Rivero, S. (1985). Growth of Holstein Friesian females in the Venezuelan tropics. *Animal Production*, 40(2), 279-285.
<https://doi.org/10.1017/S0003356100025381>
- Vallimont, J. E., Dechow, C. D., Daubert, J. M., Dekleva, M. W., Blum, J. W., Barlieb, C. M., Liu, W., Varga, G. A., Heinrichs, A. J., & Baumrucker, C. R. (2010). Genetic parameters of feed intake, production, body weight, body condition score, and selected type traits of Holstein cows in commercial tie-stall barns. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4892-4901. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3189>
- van der Werf, J., & Pryce, J. (Eds.). (2019). *Advances in breeding of dairy cattle*. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/9780429275609>
- Veerkamp, R. F. (1998). Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. *Journal of Dairy Science*, 81(4), 1109-1119. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75673-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75673-5)
- Veerkamp, R. F., & Brotherstone, S. (1997). Genetic correlations between linear type traits, food intake, live weight and condition score in Holstein Friesian dairy cattle. *Animal Science*, 64(3), 385-392.
<https://doi.org/10.1017/s1357729800015976>
- Wada, Y., Sasaki, Y., Mukai, F., & Matsumoto, Y. (1983). Describing Weight-Age Data in Japanese Black Females with Nonlinear Growth Models. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 54, 46-51.
- Webster, A. J. F., Ahamed, A. M. A., & Frappell, J. P. (1982). A note on growth rates and maturation rates in beef bulls. *Animal Production*, 35(2), 281-284.

7. APÉNDICES

Apéndice A

Valores de heredabilidad (h^2) para caracteres productivos, reproductivos y morfológicos

CARACTERÍSTICA	RAZA	N° OBS.	h^2	SE	REFERENCIA
PV	Holando	40174	0.500	0.020	Berry et al. (2021)
	Holando	2435	0.650	0.040	Muller et al. (2006)
	Holando	9843	0.740	0.190	Ramatsoma et al. (2015)
	Holando y Jersey	169661	0.391	0.017	Pryce y Harris (2006)
	Holando	6575	0.430	0.047	Uribe y González (2018)
	Holando	1157	0.440	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Holando	2728	0.410		Banos y Coffey (2012)
	Holando	8725	0.600	0.057	Berry et al. (2003)
	Holando	7344	0.330	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)
	Holando	7344	0.330	0.040 - 0.070	Koenen (2001)
	Holando	7345	0.240	0.040	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Jersey	3967	0.160	0.042	Ahlborn y Dempfle (1992)
BCS	Holando	3058	0.330	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	40174	0.190	0.010	Berry et al. (2021)
	Holando	2196	0.240	0.050	Muller et al. (2006)
	Holando	2211	0.230	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando y Jersey	169661	0.212	0.011	Pryce y Harris (2006)
	Holando	1157	0.350	0.030	Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Holando	8523	0.580	0.056	Berry et al. (2003)

CARACTERÍSTICA	RAZA	N° OBS.	h ²	SE	REFERENCIA
	Holando	2211	0.230	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	1157	0.350		Veerkamp (1998)
	Holando	3058	0.430	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	29592	0.480	0.020	Berry et al. (2021)
	Holando	2211	0.470	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
Estatura	Holando	2728	0.420		Banos y Coffey (2012)
	Holando	2211	0.470	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	7345	0.290	0.044	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Jersey	3967	0.230	0.051	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Holando	3058	0.260	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	29592	0.250	0.020	Berry et al. (2021)
Ancho de pecho	Holando	2211	0.200	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	2728	0.210		Banos y Coffey (2012)
	Holando	2211	0.200	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	3058	0.370	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	29592	0.240	0.020	Berry et al. (2021)
	Holando	7344	0.430	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)
Profundidad del cuerpo	Holando	2211	0.310	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	2728	0.320		Banos y Coffey (2012)
	Holando	7344	0.430	0.040 - 0.070	Koenen (2001)
	Holando	2211	0.310	0.0019 - 0.0027	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	3058	0.360	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Angularidad	Holando	29592	0.230	0.020	Berry et al. (2021)
	Holando	2728	0.130		Banos y Coffey (2012)

CARACTERÍSTICA	RAZA	Nº OBS.	h ²	SE	REFERENCIA
	Holando	3058	0.240	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Ángulo de la grupa	Holando	2211	0.360	0.0015 - 0.0030	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	2211	0.360	0.0015 - 0.0030	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	3058	0.290	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	29592	0.260	0.020	Berry et al. (2021)
Ancho de la grupa	Holando	7344	0.320	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)
	Holando	7344	0.320	0.040 - 0.070	Koenen (2001)
Implantación anterior de la ubre	Holando	3058	0.130	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	2211	0.260	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Altura de la ubre trasera	Holando	3058	0.170	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Soporte de la ubre	Holando	3058	0.110	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	3058	0.330	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
	Holando	7344	0.350	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)
Profundidad de la ubre	Holando	7344	0.350	0.040 - 0.070	Koenen (2001)
	Holando	2211	0.410	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Textura de la ubre	Holando	2211	0.130	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Posición de los pezones, vista trasera	Holando	3058	0.230	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Posición de los pezones, vista lateral	Holando	3058	0.380	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Colocación del pezón frontal	Holando	2211	0.290	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Colocación del pezón trasero	Holando	2211	0.300	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Altura de la implantación trasera	Holando	2211	0.230	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
Ancho de la implantación trasera	Holando	2211	0.180	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	3058	0.210	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)
Longitud del pezón	Holando	2211	0.290	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)

CARACTERÍSTICA	RAZA	N° OBS.	h ²	SE	REFERENCIA	
Ligamento suspensor medio	Holando	2211	0.160	0.0016 - 0.0021	Oliveira Junior et al. (2021)	
Facilidad de ordeño	Holando	3058	0.120	0.020 - 0.040	Berry et al. (2004)	
Carácter lechero	Holando	7344	0.450	0.040 - 0.070	Koenen y Groen (1998)	
	Holando	7344	0.450	0.040 - 0.070	Koenen (2001)	
Producción de leche	Holando	2671	0.280	0.060	Muller et al. (2006)	
	Holando	2211	0.330	0.0013 - 0.0014	Oliveira Junior et al. (2021)	
	Holando	6575	0.260	0.018	Uribe y González (2018)	
	Holando	1157	0.270	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)	
	Holando	7345	0.280	0.043	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Jersey	3967	0.260	0.054	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Holando	2655	0.240	0.050	Muller et al. (2006)	
Producción de grasa	Holando	2211	0.310	0.0013 - 0.0014	Oliveira Junior et al. (2021)	
	Holando	6575	0.300	0.016	Uribe y González (2018)	
	Holando	1157	0.400	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)	
	Holando	7345	0.260	0.041	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Jersey	3967	0.260	0.053	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Holando	2655	0.260	0.050	Muller et al. (2006)	
	Holando	2211	0.240	0.0013 - 0.0014	Oliveira Junior et al. (2021)	
Producción de proteína	Holando	6575	0.270	0.017	Uribe y González (2018)	
	Holando	1157	0.350	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)	
	Holando	7345	0.260	0.042	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Jersey	3967	0.240	0.052	Ahlborn y Dempfle (1992)	
	Holando	2655	0.270	0.040	Muller et al. (2006)	
	% de grasa	Holando	2211	0.660	0.0013 - 0.0014	Oliveira Junior et al. (2021)

CARACTERÍSTICA	RAZA	N° OBS.	h ²	SE	REFERENCIA
	Holando	7345	0.480	0.061	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Jersey	3967	0.420	0.070	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Holando	2655	0.360	0.040	Muller et al. (2006)
% de proteína	Holando	2211	0.680	0.0013 - 0.0014	Oliveira Junior et al. (2021)
	Holando	7345	0.560	0.067	Ahlborn y Dempfle (1992)
	Jersey	3967	0.440	0.071	Ahlborn y Dempfle (1992)
Intervalo al 1er servicio	Holando	12262	0.020	0.008	Berry et al. (2003)
Intervalo 1er servicio - concepción	Holando	10661	0.010	0.008	Berry et al. (2003)
	Holando	0.03			Oliveira Junior et al. (2021)
Preñez al 1er servicio	Holando	12262	0.001	0.007	Berry et al. (2003)
N° de servicios	Holando	12262	0.002	0.010	Berry et al. (2003)
	Holando	500000	0.030		Oliveira Junior et al. (2021)
Intervalo interparto	Holando	157989	0.040	< 0.005	Haile-Mariam et al. (2004)
Intervalo 1er servicio - parto	Holando	65946	0.030	0.010	Haile-Mariam et al. (2004)
	Holando	500000	0.060		Oliveira Junior et al. (2021)
Edad al 1er servicio	Holando	500000	0.050		Oliveira Junior et al. (2021)
Días abiertos (intervalo parto - siguiente concepción)	Holando	500000	0.060		Oliveira Junior et al. (2021)
Facilidad de parto	Holando	500000	0.030		Oliveira Junior et al. (2021)
Duración de gestación	Holando	500000	0.130		Oliveira Junior et al. (2021)
PV al parto	Holando	1157	0.350	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)
BCS al parto	Holando	3399	0.240		Veerkamp (1998)
	Holando	1157	0.240	0.020	Veerkamp y Brotherstone (1997)

Nota. La tabla presenta las estimaciones de la heredabilidad (h²) para los principales caracteres productivos, reproductivos y morfológicos. PV = Peso Vivo; BCS = Condición Corporal; N° Obs. = Número de Observaciones; h² = Heredabilidad; SE = Error Estándar. Los valores de h² sin SE reportado corresponden a estimaciones presentadas sin su error estándar en la fuente original.

Referencias bibliográficas Apéndice A

- Ahlborn, G., & Dempfle, L. (1992). *Genetic parameters for milk production and body size in New Zealand Holstein-Friesian and Jersey. Livestock Production Science*, 31(3-4), 205-219. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(92\)90018-Y](https://doi.org/10.1016/0301-6226(92)90018-Y).
- Banos, G., & Coffey, M. P. (2012). Prediction of liveweight from linear conformation traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(4), 2170-2175. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4838>
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2003). Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2193-2204. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73809-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73809-0)
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., & Veerkamp, R. F. (2004). Genetic relationships among linear type traits, milk yield, body weight, fertility, and somatic cell count in primiparous dairy cows. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 43(2), 161-176.
- Berry, D. P., Evans, R. D., & Kelleher, M. M. (2021). Prediction of genetic merit for live weight and body condition score in dairy cows using routinely available linear type and carcass data. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6885-6896. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20154>
- Haile-Mariam, M., Bowman, P. J., & Goddard, M. E. (2004) Genetic parameters of fertility traits and their correlation with production, type, workability, liveweight, survival index, and cell count. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(1), 77-87. <https://doi.org/10.1071/AR03059>
- Koenen, E. P. C. (2001). *Selection for body weight in dairy cattle* [Disertación doctoral, Wageningen University]. Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/199020>

- Koenen, E. P. C., & Groen, A. F. (1998). Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. *Journal of Dairy Science*, *81*(6), 1709-1713. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75738-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75738-8)
- Muller, C. J. C., Cloete, S. W. P., Olivier, J. J., Botha, J. A., & De Waal, H. (2006). Heritability of live weight and condition score in a Holstein herd and correlations with milk traits: Preliminary estimates. *South African Journal of Animal Science*, *36*(2), 79-88. <https://doi.org/10.4314/sajas.v36i2.3989>
- Oliveira Junior, G. A., Schenkel, F. S., Alcantara, L., Houlahan, K., Lynch, C., & Baes, C. F. (2021). Estimated genetic parameters for all genetically evaluated traits in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, *104*(8), 9002-9015. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20227>
- Pryce, J. E., & Harris, B. L. (2006). Genetics of body condition score in New Zealand dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*(11), 4424-4432. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72490-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72490-0)
- Ramatsoma, N. I., Banga, C. B., Lehloenya, K. C., & Gibson, R. (2015). Estimation of genetic parameters for live weight in South African Holstein cattle. *Open Journal of Animal Sciences*, *5*(3), 242-248. <https://doi.org/10.4236/ojas.2015.53028>
- Uribe, H., & González, H. (2018). (Co)variances between cattle postpartum body weight and dairy traits in a pastoral system in Chile. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, *34*(3), 266-274. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000605>
- Veerkamp, R. F. (1998). Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. *Journal of Dairy Science*, *81*(4), 1109-1119. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75673-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75673-5)
- Veerkamp, R. F., & Brotherstone, S. (1997). Genetic correlations between linear type traits, food intake, live weight and condition score in Holstein Friesian dairy cattle. *Animal Science*, *64*(3), 385-392. <https://doi.org/10.1017/s1357729800015976>

Apéndice B

Correlaciones genéticas y fenotípicas entre rasgos lineales y productivos en bovinos lecheros

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
		0.650		0.490		Banos y Coffey (2012)
	Estatura	0.630	0.015			Berry et al. (2004)
		0.680	0.030	0.410	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		0.650	0.120			Haile-Mariam et al. (2014)
		0.730		0.530		Banos y Coffey (2012)
	Ancho de pecho	0.800	0.026			Berry et al. (2004)
		0.640	0.040	0.290	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		0.400	0.160			Haile-Mariam et al. (2014)
		0.490		0.350		Banos y Coffey (2012)
		0.680	0.024			Berry et al. (2004)
Peso vivo	Profundidad del cuerpo	0.430	0.050	0.200	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		-0.100	0.160			Haile-Mariam et al. (2014)
		0.480	0.010 - 0.110	0.420		Koenen y Groen (1998)
		0.480	0.010 - 0.110	0.420		Koenen (2001)
		0.030		-0.080		Banos y Coffey (2012)
	Angularidad	-0.100	0.035			Berry et al. (2004)
		-0.280	0.060	-0.080	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		-0.510	0.210			Haile-Mariam et al. (2014)
		0.830 - 0.950		0.640 - 0.890	0.016 - 0.027	Berry et al. (2002)
BCS		0.500	0.024			Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
		0.440	0.070	0.260	≤ 0.020	Berry et al. (2021)
		0.710	0.110			Haile-Mariam et al. (2014)
		0.520	0.090	0.460	0.04	Muller et al. (2006)
		0.502	0.028	0.400	0.00	Pryce y Harris (2006)
		0.670		0.630		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.670				Veerkamp (1998)
	Ángulo de la grupa	0.290	0.037			Berry et al. (2004)
		0.740	0.040			Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.610	0.050	0.270	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		0.430	0.010 - 0.110	0.190		Koenen y Groen (1998)
		0.430	0.010 - 0.110	0.190		Koenen (2001)
	Peso de la canal	0.810	0.040	0.210	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Conformación de la canal	0.240	0.090	0.000	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Grasa de la canal	-0.040	0.110	0.000	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Carácter lechero	0.150	0.010 - 0.110	0.110		Koenen (2001)
	Implantación anterior de la ubre	0.400	0.075			Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.220	0.087			Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.120	0.114			Berry et al. (2004)
		0.100	0.061			Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.320	0.170			Haile-Mariam et al. (2014)
		-0.180	0.010 - 0.110	-0.150		Koenen y Groen (1998)
		-0.180	0.010 - 0.110	-0.150		Koenen (2001)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Posición de los pezones, vista trasera	-0.010	0.056			Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	-0.050	0.035			Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.230	0.085			Berry et al. (2004)
		0.190	0.014	0.120	0.05	Muller et al. (2006)
		0.340	0.014	0.290	0.01	Uribe y González (2018)
	Producción de leche	-0.090	0.01 - 0.05	-0.200		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.390	0.106	0.200	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.290	0.130	0.170	0.05	Muller et al. (2006)
		0.380	0.053	0.270	0.02	Uribe y González (2018)
	Producción de proteína	-0.020	0.01 - 0.05	-0.130		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.370	0.108	0.220	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.350	0.130	0.180	0.05	Muller et al. (2006)
		0.400	0.043	0.300	0.02	Uribe y González (2018)
	Producción de grasa	0.030	0.01 - 0.05	-0.130		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.340	0.110	0.180	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.290	0.100	0.170	0.05	Muller et al. (2006)
	% de proteína	-0.100	0.109	0.040	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
		0.300	0.110	0.140	0.04	Muller et al. (2006)
	% de grasa	-0.090	0.111	-0.030	0.01	Ahlborn y Dempfle (1992)
	PV al parto	0.850	0.01 - 0.05	0.760		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.640				Veerkamp (1998)
	BCS al parto	0.640	0.01 - 0.05	0.400		Veerkamp y Brotherstone (1997)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Intervalo al 1er servicio	-0.250	0.090			Berry et al. (2003)
	Intervalo 1er servicio - concepción	0.370	0.170			Berry et al. (2003)
	Preñez al 1er servicio	-0.220	0.230			Berry et al. (2003)
	Nº de servicios	0.150	0.130			Berry et al. (2003)
		0.070	0.057	0.080	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Estatura	-0.130	0.080	0.000	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		-0.040	0.0040 - 0.0064	0.070	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)
		0.770	0.043	0.580	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de pecho	0.630	0.060	0.170	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		0.720	0.0040 - 0.0064	0.240	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)
		0.280	0.071	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad del cuerpo	-0.030	0.090	0.020	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
		0.090	0.0040 - 0.0064	0.050	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)
		-0.840	0.033	-0.610	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Angularidad	-0.790	0.050	-0.160	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Ángulo de la grupa	0.140	0.074	0.080	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.310	0.073	0.310	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.310	0.080	0.060	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Peso de la canal	0.620	0.070	0.150	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Conformación de la canal	0.070	0.010	0.170	≤ 0.02	Berry et al. (2021)

BCS

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Grasa de la canal	0.440	0.110	0.120	≤ 0.02	Berry et al. (2021)
	Implantación anterior de la ubre	-0.130	0.093	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	-0.350	0.081	-0.180	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	-0.620	0.088	-0.240	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	-0.280	0.087	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	-0.120	0.063	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	-0.180	0.072	-0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.090	0.031	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	-0.370	0.107	-0.170	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.190	0.089	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	-0.140	0.080	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	-0.140	0.120	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	-0.340	0.083	-0.180	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	-0.150	0.055			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.570	0.099			Berry et al. (2004)
		-0.420	0.150	-0.170	0.04	Muller et al. (2006)
	Producción de leche	-0.460	0.01 - 0.05	-0.360		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		-0.460				Veerkamp (1998)
	Producción de	-0.430	0.140	-0.170	0.04	Muller et al. (2006)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	proteína	-0.350		-0.280		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		-0.350				Veerkamp (1998)
		-0.500	0.140	-0.160	0.04	Muller et al. (2006)
	Producción de grasa	-0.310		-0.270		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		-0.310				Veerkamp (1998)
	% de proteína	0.150	0.120	0.060	0.04	Muller et al. (2006)
	% de grasa	0.040	0.150	0.030	0.04	Muller et al. (2006)
	Intervalo al 1er servicio	-0.530	0.109			Berry et al. (2004)
		-0.370	0.080			Berry et al. (2003)
	Intervalo 1er servicio - concepción	0.020	0.170			Berry et al. (2003)
		0.130	0.116			Berry et al. (2004)
	Nº de servicios	-0.420	0.110			Berry et al. (2003)
		-0.140	0.122			Berry et al. (2004)
	Preñez al 1er servicio	0.340	0.240			Berry et al. (2003)
		0.410				Veerkamp (1998)
	PV al parto	0.410	0.01 - 0.05	0.480		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.880				Veerkamp (1998)
	BCS al parto	0.880	0.01 - 0.05	0.720		Veerkamp y Brotherstone (1997)
		0.170		0.140		Banos y Coffey (2012)
		0.370	0.056	0.380	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Estatura	Ancho de pecho	0.230	0.050	0.220	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
		0.360	0.0040 - 0.0064	0.700	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
		0.590		0.370		Banos y Coffey (2012)
	Profundidad del cuerpo	0.610	0.041	0.520	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.450	0.050	0.310	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
		0.160	0.0040 - 0.0064	0.320	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)
		0.400		0.230		Banos y Coffey (2012)
	Angularidad	0.410	0.050	0.300	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.400	0.050	0.180	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Ángulo de la grupa	0.020	0.054	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.680	0.049	0.540	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.490	0.050	0.300	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Peso de la canal	0.570	0.050	0.330	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Conformación de la canal	-0.310	0.080	-0.110	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Grasa de la canal	-0.400	0.070	-0.100	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Implantación anterior de la ubre	0.820	0.050	0.130	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.460	0.060	0.190	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.220	0.084	0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.540	0.061	0.180	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	-0.180	0.053	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	-0.170	0.073	0.120	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Longitud del pezón	0.080	0.048	0.130	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	-0.030	0.067	0.000	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.270	0.085	0.090	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.360	0.065	0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.250	0.094	0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.580	0.081	0.120	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.420	0.050			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.090	0.078			Berry et al. (2004)
		0.460		0.300		Banos y Coffey (2012)
	Profundidad del cuerpo	0.800	0.043	0.540	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.590	0.040	0.520	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
		0.570	0.0040 - 0.0064	0.260	0.0008 - 0.0035	Oliveira Junior et al. (2021)
		-0.040		-0.120		Banos y Coffey (2012)
Ancho de pecho	Angularidad	-0.360	0.062	-0.240	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		-0.240	0.070	-0.060	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Ángulo de la grupa	-0.070	0.097	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.650	0.058	0.580	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.590	0.050	0.400	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
Peso de la canal	0.530	0.050	0.270	≤ 0.03	Berry et al. (2021)	

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Conformación de la canal	0.240	0.070	0.120	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Grasa de la canal	0.170	0.100	0.100	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Implantación anterior de la ubre	-0.010	0.087	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.130	0.076	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	-0.170	0.089	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	-0.440	0.860	-0.160	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	-0.020	0.055	0.000	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.190	0.064	0.090	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.050	0.037	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	-0.060	0.091	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.220	0.078	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.070	0.080	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.010	0.109	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.170	0.089	-0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.240	0.044			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.390	0.135			Berry et al. (2004)
Angularidad	Profundidad del cuerpo	0.750		0.520		Banos y Coffey (2012)
		0.520	0.050	0.360	≤ 0.03	Berry et al. (2021)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Ángulo de la grupa	-0.240	0.052	-0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.170	0.066	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.040	0.070	0.080	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Peso de la canal	-0.380	0.080	-0.160	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Conformación de la canal	-0.710	0.060	-0.200	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Grasa de la canal	-0.440	0.070	-0.150	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Implantación anterior de la ubre	0.440	0.094	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.740	0.052	0.390	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.810	0.060	0.350	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.340	0.080	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.240	0.060	0.150	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.190	0.067	0.270	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	0.080	0.027	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.100	0.114	0.130	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.020	0.087	-0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.500	0.084	0.000	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.270	0.099	0.430	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.630	0.078	0.270	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Producción de leche 240d lactancia	0.480	0.045			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	0.330	0.075			Berry et al. (2004)
	Angularidad	0.250	0.057	0.300	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo de la grupa	-0.380	0.087	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.750	0.049	0.490	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.470	0.050	0.310	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
		0.430	0.010 - 0.110	0.270		Koenen y Groen (1998)
	Peso de la canal	0.170	0.087	0.180	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Conformación de la canal	-0.440	0.060	-0.080	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
	Grasa de la canal	-0.280	0.080	-0.040	≤ 0.03	Berry et al. (2021)
Profundidad del cuerpo	Implantación anterior de la ubre	0.150	0.087	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.530	0.061	0.200	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.250	0.088	0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	-0.200	0.066	-0.250	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		-0.490	0.010 - 0.110	-0.280		Koenen y Groen (1998)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.030	0.059	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.210	0.070	0.240	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.030	0.033	0.130	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Patas traseras, vista lateral	-0.020	0.069	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.180	0.082	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.450	0.078	-0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.210	0.100	0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.410	0.092	0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.360	0.050			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.060	0.111			Berry et al. (2004)
	Ancho de la grupa	0.170	0.089	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Implantación anterior de la ubre	0.210	0.119	-0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	-0.490	0.075	-0.150	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	-0.230	0.108	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.000	0.093	-0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Ángulo de la grupa	Posición de los pezones, vista trasera	0.020	0.085	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.110	0.087	-0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.140	0.057	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.040	0.074	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	0.020	0.104	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	-0.590	0.073	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Temperamento	-0.180	0.120	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.350	0.350	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.240	0.081			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.420	0.104			Berry et al. (2004)
	Peso de la canal	0.560	0.070	0.180	≤ 0.03	Berry et al. (2004)
	Conformación de la canal	0.230	0.090	0.020	≤ 0.03	Berry et al. (2004)
	Grasa de la canal	-0.020	0.110	0.010	≤ 0.03	Berry et al. (2004)
	Implantación anterior de la ubre	0.430	0.108	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Altura de la ubre trasera	0.400	0.075	0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.050	0.105	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		-0.110	0.077	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Ancho de la grupa	Profundidad de la ubre	-0.260	0.010 - 0.110	-0.110		Koenen y Groen (1998)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.020	0.075	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.130	0.099	0.130	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.270	0.032	0.120	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.000	0.092	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.020	0.116	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.370	0.096	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Temperamento	0.180	0.140	0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.380	0.104	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.460	0.058			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.400	0.103			Berry et al. (2004)
Implantación anterior de la ubre	Altura de la ubre trasera	0.350	0.081	0.270	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.310	0.113	0.170	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.920	0.030	0.500	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
		0.700	0.004 - 0.011	0.820	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Textura de la ubre	0.380	0.004 - 0.011	0.370	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.400	0.071	0.280	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	-0.390	0.070	-0.080	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.220	0.117	-0.180	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Colocación del pezón frontal	-0.100	0.004 - 0.011	-0.020	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Colocación del pezón trasero	0.280	0.004 - 0.011	0.120	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ligamento suspensor medio	-0.010	0.004 - 0.011	0.000	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Altura de la implantación trasera	0.040	0.004 - 0.011	0.170	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ancho de la implantación trasera	-0.480	0.004 - 0.011	-0.570	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
			0.230	0.004 - 0.011	0.440	0.0040 - 0.0110

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Patas traseras, vista lateral	0.500	0.093	-0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.250	0.082	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.090	0.086	-0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.070	0.121	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.380	0.099	0.070	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.320	0.133			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.250	0.082			Berry et al. (2004)
	Soporte de la ubre	0.750	0.099	0.450	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.170	0.081	0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.540	0.060	0.290	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.220	0.057	0.250	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	0.160	0.059	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Altura de la ubre trasera	Patas traseras, vista lateral	0.320	0.077	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.270	0.063	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.270	0.054	-0.080	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.490	0.071	0.170	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.460	0.100	0.170	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.480	0.086			Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Recuento de células somáticas	-0.160	0.086			Berry et al. (2004)
	Profundidad de la ubre	0.250	0.116	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista trasera	0.540	0.059	0.360	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Posición de los pezones, vista lateral	0.220	0.066	0.230	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	0.010	0.056	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.360	0.076	0.040	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Soporte de la ubre	Ángulo del pie	-0.410	0.062	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.160	0.082	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.050	0.129	0.120	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.500	0.112	0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.360	0.108			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	0.450	0.110			Berry et al. (2004)
		Posición de los pezones, vista trasera	0.150	0.062	0.014	0.016 - 0.027
	Posición de los pezones, vista lateral	-0.590	0.043	-0.260	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
Profundidad de la ubre	Colocación del pezón frontal	0.140	0.004 - 0.011	0.140	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Colocación del pezón trasero	-0.050	0.004 - 0.011	-0.010	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
		0.010	0.084	-0.140	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.130	0.004 - 0.011	-0.060	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ligamento suspensor medio	0.020	0.004 - 0.011	0.030	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Altura de la implantación trasera	-0.410	0.004 - 0.011	-0.340	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ancho de la implantación trasera	-0.100	0.004 - 0.011	-0.100	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Textura de la ubre	0.140	0.004 - 0.011	0.400	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Patas traseras, vista lateral	0.320	0.085	-0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.160	0.076	0.090	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	0.060	0.084	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.030	0.120	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.370	0.079	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	-0.050	0.090			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	-0.070	0.057			Berry et al. (2004)
Posición de los pezones, vista trasera	Posición de los pezones, vista lateral	0.460	0.040	0.250	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Longitud del pezón	-0.320	0.066	-0.200	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.190	0.074	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.100	0.062	-0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	-0.180	0.060	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.000	0.089	0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.220	0.065	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.510	0.066			Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Recuento de células somáticas	-0.280	0.041			Berry et al. (2004)
Posición de los pezones, vista lateral	Longitud del pezón	0.060	0.084	0.020	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Patas traseras, vista lateral	0.160	0.060	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.230	0.060	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	-0.030	0.053	0.060	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Temperamento	0.060	0.094	0.100	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.090	0.066	0.110	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	0.360	0.044			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	0.060	0.055			Berry et al. (2004)
Longitud del pezón	Colocación del pezón frontal	-0.270	0.004 - 0.011	-0.100	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Colocación del pezón trasero	-0.170	0.004 - 0.011	-0.070	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ligamento suspensor medio	-0.020	0.004 - 0.011	0.010	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Altura de la implantación trasera	0.070	0.004 - 0.011	0.000	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Ancho de la implantación trasera	0.000	0.004 - 0.011	0.030	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Textura de la ubre	-0.010	0.004 - 0.011	-0.050	0.0040 - 0.0110	Oliveira Junior et al. (2021)
	Patas traseras, vista lateral	-0.090	0.086	0.000	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Ángulo del pie	-0.010	0.102	0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Locomoción	-0.040	0.066	0.030	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)

CARACT. 1	CARACT. 2	CORR. GEN.	SE CORR. GEN.	CORR. FEN.	SE CORR. FEN.	REFERENCIA
	Temperamento	0.000	0.121	0.050	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Facilidad de ordeño	0.150	0.107	-0.010	0.016 - 0.027	Berry et al. (2004)
	Producción de leche 240d lactancia	-0.140	0.064			Berry et al. (2004)
	Recuento de células somáticas	0.310	0.075			Berry et al. (2004)
	Producción de leche	0.040	0.010 - 0.050	0.060		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Producción de grasa	0.060	0.010 - 0.050	0.120		Veerkamp y Brotherstone (1997)
PV al parto	Producción de proteína	0.050	0.010 - 0.050	0.050		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	BCS al parto	0.510	0.010 - 0.050	0.560		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Producción de leche	-0.380				Veerkamp (1998)
	Producción de leche	-0.380	0.010 - 0.050	-0.110		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Producción de leche	-0.380				Veerkamp (1998)
BCS al parto	Producción de grasa	-0.380	0.010 - 0.050	-0.050		Veerkamp y Brotherstone (1997)
	Producción de proteína	-0.330				Veerkamp (1998)
	Producción de proteína	-0.330	0.010 - 0.050	-0.120		Veerkamp y Brotherstone (1997)

Nota. CORR. GEN: Correlación Genética; SE CORR. GEN. : Error Estándar de la Correlación Genética; CORR. FEN: Correlación Fenotípica; SE CORR. FEN: Error Estándar de la Correlación Fenotípica; CARACT. 1: Característica 1; BCS: Puntuación de Condición Corporal. Las celdas vacías indican que el valor no fue reportado por la fuente.

Referencias bibliográficas Apéndice B

- Ahlborn, G., & Dempfle, L. (1992). Genetic parameters for milk production and body size in New Zealand Holstein-Friesian and Jersey. *Livestock Production Science*, 31(3-4), 205-219. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(92\)90018-Y](https://doi.org/10.1016/0301-6226(92)90018-Y)
- Banos, G., & Coffey, M. P. (2012). Prediction of liveweight from linear conformation traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(4), 2170-2175. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4838>
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2002). Genetic parameters for level and change of body condition score and body weight in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 2030-2039. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74280-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74280-X)
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., Rath, M., & Veerkamp, R. F. (2003). Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2193-2204.
- Berry, D. P., Buckley, F., Dillon, P., Evans, R. D., & Veerkamp, R. F. (2004). Genetic relationships among linear type traits, milk yield, body weight, fertility, and somatic cell count in primiparous dairy cows. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 43(2), 161-176.
- Berry, D. P., Evans, R. D., & Kelleher, M. M. (2021). Prediction of genetic merit for live weight and body condition score in dairy cows using routinely available linear type and carcass data. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6885-6896.
- Haile-Mariam, M., Gonzalez-Recio, O., & Pryce, J. E. (2014). Prediction of liveweight of cows from type traits and its relationship with production and fitness traits. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 3173-3189. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7516>
- Koenen, E. P. C. (2001). *Selection for body weight in dairy cattle* [Disertación doctoral, Wageningen University]. Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/199020>

- Koenen, E. P., & Groen, A. F. (1998). Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. *Journal of Dairy Science*, *81*(6), 1709-1713.
- Muller, C. J. C., Cloete, S. W. P., Olivier, J. J., Botha, J. A., & De Waal, H. (2006). Heritability of live weight and condition score in a Holstein herd and correlations with milk traits: Preliminary estimates. *South African Journal of Animal Science*, *36*(2), 79-88. <https://doi.org/10.4314/sajas.v36i2.3989>
- Oliveira Junior, G. A., Schenkel, F. S., Alcantara, L., Houlahan, K., Lynch, C., & Baes, C. F. (2021). Estimated genetic parameters for all genetically evaluated traits in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, *104*(8), 9002-9015.
- Pryce, J. E., & Harris, B. L. (2006). Genetics of body condition score in New Zealand dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*(11), 4424-4432.
- Uribe, H., & González, H. (2018). (Co)variances between cattle postpartum body weight and dairy traits in a pastoral system in Chile. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, *34*(3), 266-274. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000605>
- Veerkamp, R. F. (1998). Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. *Journal of Dairy Science*, *81*(4), 1109-1119.
- Veerkamp, R. F., & Brotherstone, S. (1997). Genetic correlations between production, body size, and body condition score in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, *80*(12), 3450-3457.

Apéndice C

Comparaciones de medias ajustadas para número y etapa de lactancia por método de Tukey

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
lact1 - lact2	-51.91	3.54	<.0001
lact1 - lact3	-76.19	3.86	<.0001
lact1 - lact4	-95.37	4.83	<.0001
lact1 - lact5	-107.77	6.06	<.0001
lact1 - lact6	-103.49	8.15	<.0001
lact1 - lact7	-65.56	13.9	0.0001
lact1 - lact8	-57.64	24.6	0.3163
lact1 - lact9	-44.94	46.9	0.9895
lact2 - lact3	-24.28	4.08	<.0001
lact2 - lact4	-43.46	5.01	<.0001
lact2 - lact5	-55.86	6.21	<.0001
lact2 - lact6	-51.58	8.26	<.0001
lact2 - lact7	-13.65	14	0.988
lact2 - lact8	-5.73	24.6	1
lact2 - lact9	6.97	47	1
lact3 - lact4	-19.19	5.24	0.0078
lact3 - lact5	-31.58	6.4	<.0001
lact3 - lact6	-27.31	8.4	0.0318
lact3 - lact7	10.63	14.1	0.9979
lact3 - lact8	18.55	24.7	0.998
lact3 - lact9	31.25	47	0.9992
lact4 - lact5	-12.39	7.03	0.7062

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
lact4 - lact6	-8.12	8.89	0.9923
lact4 - lact7	29.82	14.4	0.4906
lact4 - lact8	37.74	24.9	0.8471
lact4 - lact9	50.43	47.1	0.9783
lact5 - lact6	4.27	9.62	1
lact5 - lact7	42.21	14.8	0.1025
lact5 - lact8	50.13	25.1	0.5464
lact5 - lact9	62.83	47.2	0.9223
lact6 - lact7	37.94	15.8	0.2831
lact6 - lact8	45.86	25.7	0.6929
lact6 - lact9	58.56	47.5	0.9496
lact7 - lact8	7.92	28.1	1
lact7 - lact9	20.62	48.9	1
lact8 - lact9	12.7	52.9	1
laed1 - laed2	-38.448	5.26	<.0001
laed1 - laed3	-64.672	7.32	<.0001
laed1 - laed4	-52.416	8.52	<.0001
laed1 - laed5	-44.165	5.57	<.0001
laed1 - laed6	-76.206	5.67	<.0001
laed1 - laed7	-89.968	6.49	<.0001
laed1 - laed8	-109.131	7.01	<.0001
laed1 - laed9	-88.913	5.45	<.0001
laed1 - laed10	-104.112	7.36	<.0001
laed1 - laed11	-108.446	5.94	<.0001

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed1 - laed12	-99.133	7.28	<.0001
laed1 - laed13	-130.168	6.13	<.0001
laed1 - laed14	-130.386	6.27	<.0001
laed1 - laed15	-126.112	8.21	<.0001
laed1 - laed16	-88.176	13.7	<.0001
laed1 - laed17	-80.254	24	0.0784
laed1 - laed18	-67.557	45.6	0.992
laed2 - laed3	-26.224	7.85	0.0801
laed2 - laed4	-13.968	8.98	0.9864
laed2 - laed5	-5.717	6.25	1
laed2 - laed6	-37.758	6.35	<.0001
laed2 - laed7	-51.521	7.09	<.0001
laed2 - laed8	-70.683	7.57	<.0001
laed2 - laed9	-50.465	6.15	<.0001
laed2 - laed10	-65.664	7.89	<.0001
laed2 - laed11	-69.998	6.59	<.0001
laed2 - laed12	-60.686	7.81	<.0001
laed2 - laed13	-91.721	6.76	<.0001
laed2 - laed14	-91.938	6.89	<.0001
laed2 - laed15	-87.665	8.69	<.0001
laed2 - laed16	-49.728	14	0.0405
laed2 - laed17	-41.806	24.1	0.9607
laed2 - laed18	-29.109	45.7	1
laed3 - laed4	12.256	10.3	0.9994

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed3 - laed5	20.507	8.06	0.497
laed3 - laed6	-11.534	8.14	0.9951
laed3 - laed7	-25.296	8.73	0.2539
laed3 - laed8	-44.459	9.12	0.0002
laed3 - laed9	-24.241	7.98	0.1833
laed3 - laed10	-39.44	9.39	0.0036
laed3 - laed11	-43.774	8.33	<.0001
laed3 - laed12	-34.461	9.33	0.0252
laed3 - laed13	-65.496	8.47	<.0001
laed3 - laed14	-65.714	8.57	<.0001
laed3 - laed15	-61.441	10.1	<.0001
laed3 - laed16	-23.504	14.9	0.984
laed3 - laed17	-15.582	24.7	1
laed3 - laed18	-2.885	46	1
laed4 - laed5	8.251	9.17	1
laed4 - laed6	-23.791	9.23	0.4716
laed4 - laed7	-37.553	9.76	0.0144
laed4 - laed8	-56.715	10.1	<.0001
laed4 - laed9	-36.497	9.1	0.0077
laed4 - laed10	-51.696	10.4	0.0001
laed4 - laed11	-56.03	9.4	<.0001
laed4 - laed12	-46.718	10.3	0.0008
laed4 - laed13	-77.753	9.52	<.0001
laed4 - laed14	-77.97	9.61	<.0001

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed4 - laed15	-73.697	11	<.0001
laed4 - laed16	-35.76	15.5	0.6791
laed4 - laed17	-27.838	25.1	0.9998
laed4 - laed18	-15.141	46.2	1
laed5 - laed6	-32.041	6.61	0.0002
laed5 - laed7	-45.803	7.32	<.0001
laed5 - laed8	-64.966	7.78	<.0001
laed5 - laed9	-44.748	6.42	<.0001
laed5 - laed10	-59.947	8.1	<.0001
laed5 - laed11	-64.281	6.84	<.0001
laed5 - laed12	-54.968	8.03	<.0001
laed5 - laed13	-86.003	7.01	<.0001
laed5 - laed14	-86.22	7.13	<.0001
laed5 - laed15	-81.947	8.88	<.0001
laed5 - laed16	-44.011	14.1	0.1479
laed5 - laed17	-36.089	24.2	0.9914
laed5 - laed18	-23.392	45.8	1
laed6 - laed7	-13.762	7.41	0.9267
laed6 - laed8	-32.925	7.86	0.0038
laed6 - laed9	-12.707	6.51	0.8914
laed6 - laed10	-27.906	8.18	0.0641
laed6 - laed11	-32.24	6.93	0.0005
laed6 - laed12	-22.927	8.1	0.2943
laed6 - laed13	-53.962	7.09	<.0001

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed6 - laed14	-54.179	7.22	<.0001
laed6 - laed15	-49.906	8.95	<.0001
laed6 - laed16	-11.97	14.1	1
laed6 - laed17	-4.048	24.2	1
laed6 - laed18	8.649	45.8	1
laed7 - laed8	-19.162	8.47	0.7108
laed7 - laed9	1.056	7.23	1
laed7 - laed10	-14.143	8.76	0.9801
laed7 - laed11	-18.477	7.61	0.5874
laed7 - laed12	-9.165	8.69	0.9999
laed7 - laed13	-40.2	7.76	<.0001
laed7 - laed14	-40.417	7.87	<.0001
laed7 - laed15	-36.144	9.49	0.0166
laed7 - laed16	1.792	14.5	1
laed7 - laed17	9.714	24.4	1
laed7 - laed18	22.411	45.9	1
laed8 - laed9	20.218	7.7	0.4345
laed8 - laed10	5.019	9.15	1
laed8 - laed11	0.685	8.06	1
laed8 - laed12	9.997	9.09	0.9998
laed8 - laed13	-21.038	8.2	0.4799
laed8 - laed14	-21.255	8.3	0.4846
laed8 - laed15	-16.982	9.85	0.962
laed8 - laed16	20.955	14.7	0.9949

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed8 - laed17	28.877	24.6	0.9995
laed8 - laed18	41.574	46	1
laed9 - laed10	-15.199	8.02	0.9141
laed9 - laed11	-19.533	6.75	0.2557
laed9 - laed12	-10.221	7.94	0.9984
laed9 - laed13	-41.256	6.92	<.0001
laed9 - laed14	-41.473	7.04	<.0001
laed9 - laed15	-37.2	8.8	0.0032
laed9 - laed16	0.737	14.1	1
laed9 - laed17	8.659	24.2	1
laed9 - laed18	21.356	45.7	1
laed10 - laed11	-4.334	8.37	1
laed10 - laed12	4.978	9.36	1
laed10 - laed13	-26.057	8.5	0.171
laed10 - laed14	-26.274	8.6	0.1757
laed10 - laed15	-22.001	10.1	0.7681
laed10 - laed16	15.936	14.9	0.9999
laed10 - laed17	23.858	24.7	1
laed10 - laed18	36.555	46	1
laed11 - laed12	9.312	8.29	0.9997
laed11 - laed13	-21.722	7.31	0.2151
laed11 - laed14	-21.94	7.43	0.2242
laed11 - laed15	-17.667	9.12	0.8976
laed11 - laed16	20.27	14.3	0.9949

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
laed11 - laed17	28.192	24.3	0.9996
laed11 - laed18	40.889	45.8	1
laed12 - laed13	-31.035	8.43	0.0264
laed12 - laed14	-31.252	8.53	0.0282
laed12 - laed15	-26.979	10	0.3894
laed12 - laed16	10.957	14.9	1
laed12 - laed17	18.879	24.7	1
laed12 - laed18	31.576	46	1
laed13 - laed14	-0.217	7.58	1
laed13 - laed15	4.056	9.24	1
laed13 - laed16	41.992	14.3	0.2369
laed13 - laed17	49.914	24.4	0.8447
laed13 - laed18	62.611	45.8	0.9968
laed14 - laed15	4.273	9.34	1
laed14 - laed16	42.21	14.4	0.2354
laed14 - laed17	50.132	24.4	0.8415
laed14 - laed18	62.829	45.9	0.9967
laed15 - laed16	37.937	15.3	0.5511
laed15 - laed17	45.859	25	0.9334
laed15 - laed18	58.556	46.2	0.9987
laed16 - laed17	7.922	27.3	1
laed16 - laed18	20.619	47.4	1
laed17 - laed18	12.697	51.4	1
etapalact1 - etapalact2	28.84	6.86	0.0004

CONTRASTE	DIF. ESTIMADA	SE	P VALUE
etapalact1 - etapalact3	26.52	7.33	0.0041
etapalact1 - etapalact4	10.27	7.25	0.7178
etapalact1 - etapalact5	-40.9	6.3	<.0001
etapalact1 - etapalact6	-77.44	6.97	<.0001
etapalact2 - etapalact3	-2.32	5.48	0.9983
etapalact2 - etapalact4	-18.58	5.38	0.0074
etapalact2 - etapalact5	-69.74	4	<.0001
etapalact2 - etapalact6	-106.28	4.99	<.0001
etapalact3 - etapalact4	-16.25	5.96	0.07
etapalact3 - etapalact5	-67.42	4.75	<.0001
etapalact3 - etapalact6	-103.96	5.61	<.0001
etapalact4 - etapalact5	-51.16	4.64	<.0001
etapalact4 - etapalact6	-87.71	5.51	<.0001
etapalact5 - etapalact6	-36.55	4.18	<.0001

Nota. Análisis de contrastes post-hoc realizado con el método de Comparaciones Múltiples de Tukey para la variable de respuesta (ej. Producción de Leche). CONTRASTE: Comparación de pares de categorías (ej. lact1 - lact2). DIF. ESTIMADA: Diferencia media ajustada entre las categorías. Un valor negativo indica menor media en la primera categoría. SE: Error Estándar de la diferencia. P VALUE: Nivel de significancia ajustado. Se consideran significativas las diferencias con $P < 0.05$. lact#: Número de Lactancia (1 a 9). laed#: Días en Lactancia agrupados por periodo (1 a 18). etapalact#: Etapa de Lactancia agrupada por curva (1 a 6).

Apéndice D

Código utilizado en R para el procesamiento y análisis de los datos

```

setwd("C:/Users/usuario/OneDrive/Escritorio/ANÁLISIS DATOS TESIS")
ta<-read.csv2("pesoslact.csv")

# MATERIALES Y MÉTODOS.
## Número de observaciones totales.
dim(ta)
## Tabla de datos con marcas.
table(ta$marca)
## Tabla de datos sin marcas.
tp<-ta[which(ta$marca==""),]
dim(tp)
## Número de animales con registro.
length(table(tp$vaca))
## Distribución de las observaciones por raza.
table(tp$raza)
## Distribución de las observaciones por lactancia.
table(tp$lact)
## Distribución de animales por número de registros.
table(table(tp$vaca))
## Información de pedigree.
tp$info_pedigree <- with(tp, ifelse(!is.na(padre) & padre != "" & !is.na(madre) & madre
!= "", "Padre y madre", ifelse(!is.na(padre) & padre != "" & (is.na(madre) | madre == ""),
"Solo padre", ifelse((is.na(padre) | padre == "") & !is.na(madre) & madre != "", "Solo
madre", "Sin información"))))
### Contar cuántas vacas únicas hay en cada categoría.
tabla_pedigree <- table(unique(tp[, c("vaca", "info_pedigree")])$info_pedigree)
print(tabla_pedigree)
### Porcentaje sobre el total sin marca.
porcentaje <- round(100 * tabla_pedigree / length(unique(tp$vaca)), 1)
print(porcentaje)

```

```
# ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.
```

```
## Distribución de edades de los animales a la toma de registros.
```

```
hist(tp$edad,40,xlab="Edad (días)", ylab="Frecuencia", main="Figura 2. Distribución de edades de los animales a la toma de registros.")
```

```
## Distribución de pesos de los animales a la toma de registros.
```

```
hist(tp$peso,40, xlab="Peso (kg)", ylab="Frecuencia", main="Figura 3. Distribución de pesos de los animales a la toma de registros.")
```

```
mean(tp$peso)
```

```
## Distribución de PV por lactancia.
```

```
boxplot(peso~lact, data=tp, notch=TRUE, varwidth=TRUE, cex=0.5, xlab="Lactancia", ylab="Peso (kg)", main="Figura 4. Distribución de PV por lactancia.", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente significativas de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ( $p < 2.2e-16$ ).", cex.sub=0.8)
```

```
kruskal.test(peso~lact,data=tp)
```

```
aggregate(peso ~ lact, data = tp, FUN = mean, na.rm = TRUE)
```

```
## Distribución de PV por etapa de lactancia.
```

```
boxplot(peso ~ etapalact, data = tp, notch = TRUE, varwidth = TRUE, outline = TRUE, xlab = "Etapa de lactancia", ylab = "Peso vivo (kg)", main = "Figura 5. Distribución del peso vivo por etapa de lactancia", sub = "Las diferencias entre etapas de lactancia fueron significativas según el test de Kruskal-Wallis ( $p < 0.001$ ).", cex.sub = 0.8)
```

```
aggregate(peso ~ etapalact, data = tp, FUN = function(x) round(mean(x, na.rm = TRUE), 1))
```

```
## Distribución de producción de leche a 305 días por lactancia.
```

```
sum(tp$l305>0)
```

```
boxplot(l305~lact, data=tp[which(tp$l305>0),], notch=TRUE, varwidth=TRUE, cex=0.5, xlab="Lactancia", ylab="Leche 305 días (kg)", main="Figura 6. Distribución de producción de leche a 305 días por lactancia\n(para observaciones con dato de producción mayor a cero).", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente significativas de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ( $p < 2.2e-16$ ).", cex.sub=0.8)
```

```
kruskal.test(l305~lact,data=tp[which(tp$l305>0),])
```

```
## Distribución de producción de grasa a 305 días por lactancia.
```

```
sum(tp$gr305>0)
```

```
boxplot(gr305~lact, data=tp[which(tp$gr305>0),], notch=TRUE, varwidth=TRUE, cex=0.5, xlab="Lactancia", ylab="Grasa 305 días (kg)", main="Figura 7. Distribución de producción de grasa a 305 días por lactancia\n(para observaciones con dato de producción mayor a cero).", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente significativas de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ( $p < 2.2e-16$ ).", cex.sub=0.8)
```

mayor a cero).", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente significativas de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ($p < 2.2e-16$).", cex.sub=0.8)

```
kruskal.test(gr305~lact,data=tp[which(tp$gr305>0),])
```

```
## Distribución de producción de proteína a 3.5 días por lactancia.
```

```
sum(tp$pr305>0)
```

```
boxplot(pr305~lact, data=tp[which(tp$pr305>0),], notch=TRUE, varwidth=TRUE,
cex=0.5, xlab="Lactancia", ylab="Proteína 305 días (kg)", main="Figura 8. Distribución
de producción de proteína a 305 días por lactancia\n(para observaciones con dato de
producción mayor a cero).", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente
significativas de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ( $p < 2.2e-16$ ).", cex.sub=0.8)
```

```
kruskal.test(pr305~lact,data=tp[which(tp$pr305>0),])
```

```
## Promedio de producción de leche, grasa y proteína a 305 días por lactancia.
```

```
aggregate(l305 ~ lact, data = tp[tp$l305 > 0, ], FUN = function(x) round(mean(x, na.rm
= TRUE), 0))
```

```
aggregate(gr305 ~ lact, data = tp[tp$gr305 > 0, ], FUN = function(x) round(mean(x, na.rm
= TRUE), 0))
```

```
aggregate(pr305 ~ lact, data = tp[tp$pr305 > 0, ], FUN = function(x) round(mean(x, na.rm
= TRUE), 0))
```

```
## Distribución y promedio de días a la pesada por lactancia.
```

```
boxplot(dias_pesada~lact, data=tp, notch=TRUE, varwidth=TRUE, outline=FALSE,
xlab="Lactancia", ylab="Días a la pesada", main="Figura 9. Distribución de días a la
pesada por lactancia.", sub="Las diferencias entre lactancias son altamente significativas
de acuerdo al test de Kruskal-Wallis ( $p < 1.339e-05$ ).", cex.sub=0.8)
```

```
kruskal.test(dias_pesada~lact,data=tp)
```

```
promedios_dias_pesada <- aggregate(tp$dias_pesada, by = list(Lactancia = tp$lact), FUN
= function(x) round(mean(x, na.rm = TRUE), 1))
```

```
colnames(promedios_dias_pesada)[2] <- "Promedio_días_a_la_pesada"
```

```
print(promedios_dias_pesada)
```

```
# ANAVA.
```

```
## VARIABLES AFECTANDO PV.
```

```
### Raza.
```

```
kruskal.test(peso ~ raza, data = tp)
```

```
## Solo para raza Holando.
```

```

#### Tambo.
kruskal.test(peso ~ tambo, data = tp[tp$raza == 1, ])
#### N° de lactancia.
kruskal.test(peso ~ lact, data = tp[tp$raza == 1, ])
#### Grupo lactancia-edad.
kruskal.test(peso ~ laed, data = tp[tp$raza == 1, ])
#### Etapa de lactancia.
kruskal.test(peso ~ etapalact, data = tp[tp$raza == 1, ]) # Etapa de lactancia
#### Grupo contemporáneo (tambo-fecha de pesada).
tp$gc <- interaction(tp$tambo, tp$fpesada, drop = TRUE)
##### Cantidad de grupos contemporáneos.
length(unique(tp$gc))
##### Frecuencia de grupos contemporáneos por cantidad de registros.
table(table(tp$gc))
kruskal.test(peso ~ gc, data = tp)

## MEDIAS DE MINIMOS CUADRADOS (LEAST SQUARE MEANS) PARA LOS
EFECTOS DE LACTANCIA, LACTANCIA-EDAD Y ETAPA DE LACTANCIA.
#### variables como factores
tp$lact <- as.factor(tp$lact)
tp$laed <- as.factor(tp$laed)
tp$etapalact <- as.factor(tp$etapalact)
#### Ajustar modelo lineal
modelo_lact <- lm(peso ~ lact, data = tp)
modelo_laed <- lm(peso ~ laed, data = tp)
modelo_etapa <- lm(peso ~ etapalact, data = tp)
#### Calcular LSMeans
install.packages("emmeans")
library(emmeans)
emmeans(modelo_lact, ~ lact)
emmeans(modelo_laed, ~ laed)
emmeans(modelo_etapa, ~ etapalact)

```

```

## COMPARACIONES MÚLTIPLES (MÉTODO DE TUKEY).
lact_means <- emmeans(modelo_lact, ~ lact)
laed_means <- emmeans(modelo_laed, ~ laed)
etapa_means <- emmeans(modelo_etapa, ~ etapalact)
pairs(lact_means)
pairs(laed_means)
pairs(etapa_means)
summary(lact_means, infer = TRUE)
summary(laed_means, infer = TRUE)
summary(etapa_means, infer = TRUE)

# PARÁMETROS GENÉTICOS.
## CÁLCULO DE HEREDABILIDAD Y REPETIBILIDAD.
install.packages("readxl")
library(readxl)
params <- read_excel("params.xlsx")
#### Cálculo de varianza fenotípica (Vp).
params$Vp <- params$VA + params$VEP + params$VR
#### Cálculo de heredabilidad (h2).
params$h2 <- params$VA / params$Vp
#### Cálculo de repetibilidad (r).
params$r <- (params$VA + params$VEP) / params$Vp
#### Promedio de Vp, h2 y r; Percentiles.
summary_stats <- data.frame(Vp_mean = mean(params$Vp), h2_mean =
mean(params$h2), r_mean = mean(params$r), Vp_p5 = quantile(params$Vp, 0.05),
Vp_p95 = quantile(params$Vp, 0.95), h2_p5 = quantile(params$h2, 0.05), h2_p95 =
quantile(params$h2, 0.95), r_p5 = quantile(params$r, 0.05), r_p95 =
quantile(params$r, 0.95))
print(summary_stats)

#### Gráfica evolución heredabilidad durante el muestreo.
install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)

```

```
ggplot(params, aes(x = `N° muestra`, y = h2)) + geom_line(color = "steelblue", linewidth  
= 0.6) + labs(title = "Figura 10. Evolución de la heredabilidad (h2) durante el muestreo",  
x = "Número de muestra", y = "Heredabilidad (h2)")  
  
theme_minimal()
```

```
### Histograma con curva de densidad y percentiles
```

```
ggplot(params, aes(x = h2)) + geom_histogram(aes(y = ..density..), bins = 30, fill =  
"skyblue", color = "black", alpha = 0.6) + geom_density(color = "darkred", size = 1) +  
geom_vline(xintercept = quantile(params$h2, probs = c(0.05, 0.95)), linetype = "dashed",  
color = "blue", size = 1) + labs(title = "Figura 11. Distribución posterior de la  
heredabilidad (h2)", x = "Heredabilidad (h2)", y = "Densidad") + theme_minimal()
```