



Estimación de parámetros genéticos para características de flujo y conductividad de la leche en un sistema de ordeño robotizado



Norma Leticia Cornejo-García ^{a,b}

Marina Durán-Aguilar ^b

Felipe de Jesús Ruiz-López ^c

Germinal Jorge Cantó-Alarcón ^b

José Luis Romano-Muñoz ^{c*}

^a Primate Products LLC, Collier Co, Florida, E.E.U.U.

^b Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales, Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable. Av. de las Ciencias S/N 76230, Querétaro, México.

^c Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Carretera a Colón, Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México

*Autor de correspondencia: jlromano2@yahoo.com

Resumen:

El objetivo de este trabajo fue estimar los componentes de varianza y correlaciones genéticas para la producción de leche (PLe), el flujo medio (FMd), el flujo máximo (FMx) y la conductividad eléctrica (CE) de la leche, en un sistema de ordeño robotizado. Se analizaron 137 lactaciones de 110 vacas Holstein primíparas y multíparas, con 42,009 observaciones, desde el año 2018 hasta el 2020 en un hato lechero en el estado de Querétaro. Se realizó la evaluación genética utilizando un modelo animal de regresión mixta. Para estimar la heredabilidad (h^2) se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud restringida para calcular los componentes de varianza, el estimador BLUE y el predictor BLUP, para cada una de las variables sujetas en la investigación. La h^2 estimada para PLe (0.62) fue la más alta de las

calculadas, de igual modo se estimó la h^2 para FMd (0.44), FMx (0.33) y CE (0.28); se considera que uno de los aspectos que influyó en los valores obtenidos se debió a la variabilidad de cada observación diaria. Las correlaciones genéticas para la PLe fueron negativas para el FMd (-0.6117) y FMx (-0.7666); en contraste, para la característica de CE (-0.1669) la correlación fue baja. Las correlaciones genéticas estimadas para FMx fueron positivas para FMd (0.7422) y CE (0.5351), finalmente se estimó una correlación genética positiva para FMd y CE (0.3546). Los resultados presentados permiten entender las relaciones existentes entre flujo, conductividad y producción e indican la importancia de estas características para un programa de selección genética.

Palabras clave: Heredabilidad, Producción de leche, Conductividad eléctrica, Flujo de leche.

Recibido: 13/12/2022

Aceptado: 06/03/2024

Con el fin de mejorar los índices productivos del ganado lechero y modificar la frecuencia deseable de genes en una población, se emplean programas de evaluación y selección genética. Estos programas, basados en el conocimiento de parámetros genéticos, se han empleado frecuentemente para la selección de rasgos como la producción y composición de la leche, conformación de la ubre y longevidad del animal. Gracias a los avances tecnológicos en los equipos de ordeño, se facilita la medición de producción, el flujo de leche y la conductividad eléctrica, características que pueden incluirse en un esquema de selección^(1,2).

Para incrementar la producción de los animales, es importante conocer los factores genéticos y medioambientales, y trabajar sobre los que son susceptibles de mejora⁽³⁾. La morfología de los animales suele ser el primer indicador directo de la producción de leche y de la facilidad para un correcto y rápido ordeño. No obstante, se debe tener en cuenta que para lograr expresar el potencial genético los factores medioambientales deben ser considerados⁽⁴⁾.

El rasgo de flujo de leche puede considerarse de gran importancia, debido a que se asocia con la eficiencia de ordeño y la salud de la ubre. A mayor flujo de leche menor tiempo de ocupación de mano de obra de ordeño y de maquinaria, influyendo significativamente en la economía del establecimiento^(5,6); sin embargo, un mayor flujo de leche disminuye la tensión del esfínter del pezón, lo que aumenta el riesgo de mastitis y se asocia a mayor número de células somáticas (CCS). Por otro lado, el flujo lento está asociado a una extracción incompleta de leche, lo que provoca aumento de tensión intramamaria. Aunque incrementar la velocidad de ordeño por vaca supone una disminución en costos, cuando se planea hacer selección con base en el flujo de la leche, lo recomendable es mantener el flujo en un nivel

medio^(7,8). La velocidad de eyección de la leche depende de la presión acumulada dentro de la glándula mamaria. Así, mayor cantidad de leche almacenada en la ubre aumenta la presión intramamaria, con el consiguiente aumento de la velocidad de bajada de la leche. La liberación de oxitocina al torrente sanguíneo es indispensable para desencadenar la bajada y eyección de la leche⁽⁹⁾.

La rutina de ordeño, la máquina y el propio animal, son factores relacionados directamente con el flujo de leche. Existe gran influencia de la técnica de ordeño y el nivel de vacío de la máquina; por ejemplo, un vacío superior al especificado supone un aumento en el flujo de la leche, pero irrita el recubrimiento del pezón. Paralelamente, la medición del flujo permite identificar animales con mayores tiempos de eyección de leche, mismos que se asocian negativamente con la producción por ordeño^(10,11). Uno de los principales problemas es cómo medir el flujo; Tancin *et al*⁽¹²⁾ concluyeron que el flujo máximo es una medida biológicamente significativa, ya que a medida que aumenta el flujo máximo de la leche, disminuye el tiempo total de ordeño y la duración de la fase de meseta. Adicionalmente, la medición del flujo se ha utilizado para monitorear la eficiencia del equipo de ordeña y estimar la producción por ordeño⁽¹³⁾; así como para establecer el flujo más adecuado que determine el final de la ordeña y que no afecte el confort de la vaca⁽¹⁴⁾.

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica; está relacionada con la concentración y movilidad de los iones de la leche, dependiendo en un 60 % de su contenido de sales disueltas⁽¹⁵⁾. La CE se ha considerado como un rasgo indicador de la salud de la ubre, utilizándose para la predicción de mastitis en cabras y vacas^(15,16,17); la información es fácil de registrar en los sistemas automatizados. Por lo tanto, la CE podría ser útil no sólo para el manejo de las vacas sino también como un rasgo de selección. Se ha mencionado que la alta correlación entre los valores de CCS y CE es prometedora para mejorar la resistencia a la mastitis y la capacidad funcional de las vacas lecheras. En los sistemas automatizados los registros de la CE están disponibles en pocos segundos después del ordeño, lo que hace que la información sobre la CE sea útil para la detección temprana de la mastitis.

La CE puede presentar fluctuaciones; ésta puede variar entre cuartos, entre las fases de ordeño y por la presencia de mastitis. Los componentes de la leche también pueden influir, ya que cualquier cambio en la concentración de iones se reflejará en la CE⁽¹⁶⁾. En otros trabajos⁽¹⁸⁾ se ha reportado que la producción de leche y la CE cambian significativamente al menos un día antes de la presentación de la mastitis clínica.

Los sistemas de ordeño robotizado (SOR) registran en cada evento los parámetros de ordeño relacionados con la producción, la CE y el flujo por cuarto y total^(19,20).

Los programas de mejoramiento genético son los pilares del aumento de la eficiencia de las unidades de producción ganadera y se basan en el incremento de la frecuencia de genes deseables en una población de vacas lecheras^(21,22). La efectividad de un programa de mejoramiento va a depender de la variabilidad genética de la población y, por ende, de la heredabilidad de las características a mejorar. El llevar a cabo evaluaciones genéticas permite la identificación de aquellos animales con mayor potencial genético para las características de interés productivo. En los programas genéticos se estiman los parámetros de heredabilidad, repetibilidad y correlaciones genéticas.

Por medio de la heredabilidad se estima en qué medida la varianza fenotípica corresponde a la varianza debida a los genes. Estos componentes determinan la respuesta a la selección, establecen la estrategia a utilizar en el mejoramiento de caracteres de interés, y resultan esenciales para la construcción exitosa de decisiones en la selección y programas de mejoramiento genético⁽²³⁾.

Aunque la conductividad eléctrica y la velocidad de flujo son de importancia para incrementar la producción de la leche y están estrechamente relacionadas con una disminución en los costos de producción, no se cuenta con suficiente información sobre sus componentes genéticos o de la influencia que esta información tendría en la producción de leche.

El trabajo se realizó en un establo que cuenta con sistema de ordeño robotizado DeLaval VMS™, localizado en el Municipio de El Marqués, Querétaro. Este sistema registra de manera permanente la información individualizada de cada vaca cada vez que entra al módulo de ordeña. En cada evento de ordeña el sistema registra la cantidad de leche producida por cada cuarto y la producción total (kg), el tiempo de ordeño (min), el flujo de leche (kg/min) y la conductividad (mS/cm).

Las vacas se fueron integrando al ensayo al inicio de su periodo de lactación, la información individual se recopiló durante todo el periodo. Se descartó la información de vacas que no concluyeron la lactación por causas ajenas al proyecto.

El manejo de los animales estuvo basado en un tráfico unidireccional; esto es, los animales podían estar en la zona de comedero, en la zona de echaderos, o bien en la zona del módulo de ordeña, y circular en ese orden, pero no podrían regresar a zonas anteriores. Las vacas acudían al módulo de ordeña de manera voluntaria y atraídas por el ofrecimiento de alimento concentrado en el comedero localizado en dicho módulo. La alimentación consistió en el ofrecimiento permanente de una ración parcialmente mezclada y en el suministro limitado de concentrado en el módulo de ordeña; la dieta estuvo formulada para llenar los requerimientos nutricionales de los animales. Las vacas fueron monitoreadas permanentemente para realizar las actividades conducentes relacionadas con aspectos

reproductivos y de mantenimiento de la salud; todo de acuerdo a las prácticas establecidas por el Médico Veterinario responsable del establecimiento.

Se recopiló diariamente la información de producción de leche en kg/día (PLe), de la conductividad eléctrica en mS/cm (CE), del flujo de medio de leche (FMd) en kg/min y del flujo máximo de leche en kg/min (FMx) de 110 vacas, de las cuales 47 eran de primera (PL), 45 de segunda (SL), 28 de tercera (TL) y 17 de cuarta o más lactaciones (CL), dando un total de 137 lactaciones. En el Cuadro 1 se presentan los valores registrados por año de parto y en el Cuadro 2 por época de parto de las características mencionadas. Las épocas se definieron como sigue: Época 1, los 3 primeros meses del año; Época 2, meses 4 a 6; Época 3, meses 7 a 9; Época 4, meses 10 a 12. Las producciones reportadas por el establo se encuentran dentro de los parámetros usuales para un hato alto productor en México.

Cuadro 1: Valores promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx) por año de parto

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Error Std
Año de parto 2018					
PLe, kg/día	9313	0.41	114.54	38.61	0.140
CE, mS/cm	9313	1.97	6.65	4.57	0.004
FMd, kg/min	9313	0.25	2.70	1.21	0.004
FMx, kg/min	9313	0.52	3.62	1.68	0.005
Año de parto 2019					
PLe, kg/día	21205	0.95	134.70	39.86	0.087
CE, mS/cm	21205	0.99	7.84	4.59	0.003
FMd, kg/min	21205	0.24	5.15	1.23	0.002
FMx, kg/min	21205	0.37	13.49	1.72	0.003
Año de parto 2020					
PLe, kg/día	4965	5.83	85.18	41.92	0.180
CE, mS/cm	4965	1.57	6.85	4.77	0.008
FMd, kg/min	4965	0.35	2.21	1.18	0.004
FMx, kg/min	4965	0.54	3.00	1.66	0.005

Cuadro 2: Valores promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx) por época de parto

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Error Std
Época de parto 1					
PLe, kg/día	8576	2.66	91.21	39.97	0.130
CE, mS/cm	8576	1.57	6.85	4.64	0.005
FMd, kg/min	8576	0.30	2.24	1.13	0.003
FMx, kg/min	8576	0.55	3.00	1.59	0.003
Época de parto 2					
PLe, kg/día	5408	6.44	84.85	39.20	0.153
CE, mS/cm	5408	0.99	6.38	4.54	0.006
FMd, kg/min	5408	0.24	2.19	1.24	0.004
FMx, kg/min	5408	0.37	2.96	1.72	0.004
Época de parto 3					
PLe, kg/día	6697	4.76	88.01	40.67	0.137
CE, mS/cm	6697	1.75	7.84	4.58	0.006
FMd, kg/min	6697	0.30	2.35	1.29	0.004
FMx, kg/min	6697	0.52	3.14	1.72	0.004
Época de parto 4					
PLe, kg/día	14802	0.41	134.70	39.58	0.120
CE, mS/cm	14802	1.34	7.50	4.64	0.004
FMd, kg/min	14802	0.25	5.14	1.24	0.003
FMx, kg/min	14802	0.52	13.49	1.75	0.004

La información se registró diariamente, obteniendo de 1 a 4 registros por día. Para la PLe, se sumó el total de producción de cada ordeño por día, mientras que, para CE, FMd y FMx, los valores se promediaron por día (total y por cuarto). Para realizar la curva de lactación se sumó la PLe diaria, y posteriormente por semana. Para realizar el cálculo de los parámetros genéticos se obtuvo un total de 137 observaciones para PLe, CE, FMd y FMx (Cuadro 3).

Cuadro 3: Valores generales promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	PLe, kg/día	CE, mS/cm	FMd kg/min	FMx kg/min
Promedio	39.82	4.61	1.22	1.70
Mínimo	0.41	0.99	0.23	0.37
Máximo	134.7	7.84	5.14	13.49
Error estándar	0.069	0.002	0.001	0.002

Para poder identificar los efectos genéticos, fue necesario considerar y corregir por los efectos ambientales que pudieran tener efecto sobre las variables estudiadas. Por lo anterior se representaron en el modelo los efectos ambientales incluyendo el año y la época de parto y la edad del animal al parto; además de considerar la posibilidad de tener efectos ambientales permanentes (comunes a un mismo animal, pero no genéticos) al tener más de un registro por animal.

Se estimaron los componentes de varianza para PLe, FMd, FMx y CE por lactación con un modelo animal de repetibilidad, eliminándose los datos atípicos y extremos. Se utilizó un modelo lineal mixto donde se incluyeron como efectos fijos; el número de parto/año/época de parto (cuatro épocas según el mes de parto: enero-marzo, abril-junio, julio-septiembre y octubre-diciembre). Como efectos aleatorios se incluyeron al animal y al ambiente permanente.

Los estimadores de los componentes de varianza y covarianza se realizaron por medio de máxima verosimilitud restringida y las heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas, se calcularon a partir de los componentes de varianza, utilizando el conjunto de programas BLUPF90⁽²⁴⁾.

Para la estimación de componentes de varianza el modelo utilizado fue:

$$y_{ijklmn} = \mu + \text{año}_i + \text{epoca}_j + \text{nump}_k + \text{animal}_l + \text{ambper}_m + e_{n(ijklm)}$$

En donde:

y_{ijklmn}= vector de observaciones de interés (PLe, CE, FMd y FMx) correspondiente a la observación n en el año de parto i, época de parto j, número de parto k, animal l, ambiente permanente m;

año_i= efecto del año de parto i;

época_j= efecto de la época de parto j (de 1 a 4);

nump_k= efecto del número de parto k (de 1 a 4);

animal_l=efecto aleatorio genético del animal l,

ambper_m= efecto aleatorio del ambiente permanente m;

en(ijklm)= vector de los efectos del error o residuales de la observación n dentro del animal l, año de parto i época de parto j y número de parto k.

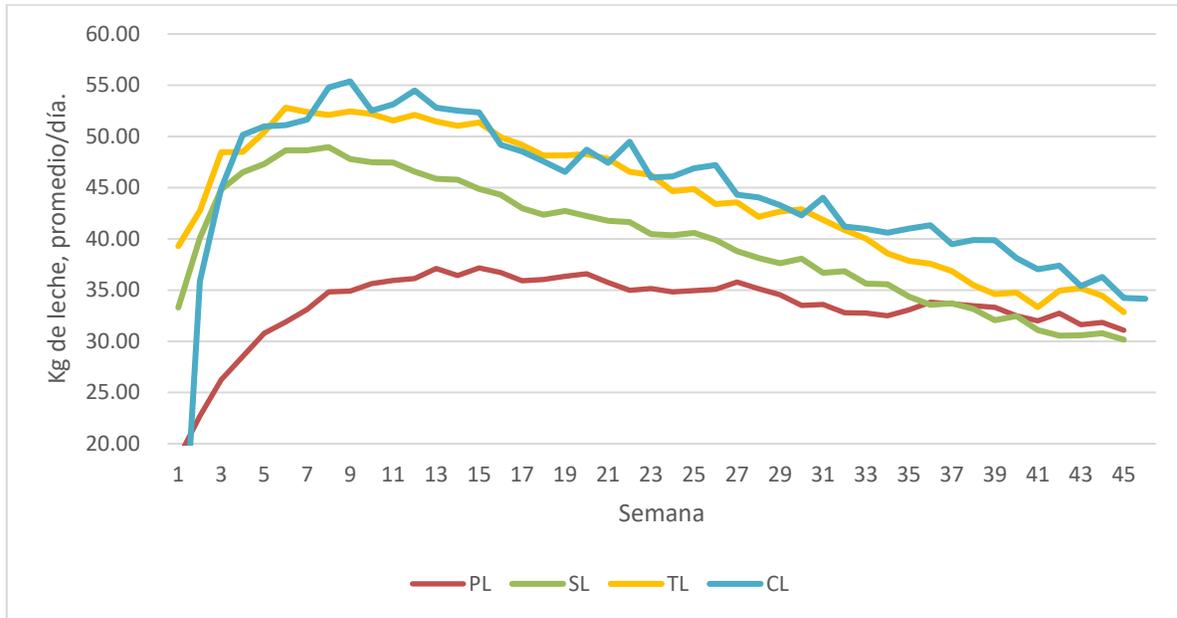
Para estimar los componentes de covarianza, se realizaron análisis bivariados utilizando el siguiente modelo matricial:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

donde los subíndices 1 y 2 identifican el par de características a ser evaluadas y (PLe, CE, FMd y FMx) b= vector de efectos fijos (número de parto/año/estación de parto), u= vector de efectos aleatorios (animal y ambiente permanente), X y Z: son matrices de incidencia para los vectores b y u respectivamente; e= vector de los efectos del error o residuales.

En la Figura 1 se presenta la producción de leche de vacas por número de lactación. Las vacas de primer parto presentaron producción y un pico de producción inferior y mayor persistencia que las vacas con más lactaciones.

Figura 1: Producción diaria de leche a lo largo de 45 semanas en vacas de primera lactación (PL), segunda lactación (SL), tercera lactación (TL) y cuarta o más lactaciones (CL)



Los componentes de varianza calculados para producción de leche, conductividad eléctrica, flujo medio y flujo máximo, así como la heredabilidad y repetibilidad se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Componentes de varianza para producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	PLe	CE	FMd	FMx
σ^2_A	183.60	0.110	0.055	0.065
σ^2_{PE}	23.74	0.099	0.082	0.109
σ^2_e	87.78	0.129	0.025	0.052
h^2	0.62	0.44	0.33	0.28
r^2	0.70	0.48	0.84	0.77

σ^2_A = varianza genética aditiva; σ^2_{PE} = varianza del ambiente permanente; σ^2_e = varianza residual; h^2 = heredabilidad; r^2 = repetibilidad.

La heredabilidad de la producción de leche (0.62) fue superior a los valores estimados en ganado Holstein en México; ésta ha sido reportada entre 0.17 y 0.49 para la primera lactación y entre 0.16 y 0.41 para las primeras cinco lactaciones⁽²³⁾. De la CE se estimó un valor de

heredabilidad medio-alto (0.44), similar a lo estimado por otros autores^(25,26); en condiciones de ordeña automatizada, como en este trabajo, se reportó una heredabilidad que fluctuó entre 0.38 y 0.49⁽²⁷⁾. Se ha expuesto que la heredabilidad de CE es importante, debido a que se ha estimado que las correlaciones genéticas entre la CE y la mastitis están en el rango de 0.65 a 0.8; por lo tanto, la obtención de la respuesta genética para la mastitis debería ser posible mediante el uso de la información de la CE en la evaluación genética⁽¹⁷⁾.

Las heredabilidades estimadas para FMd y FMx fueron medias (0.33 y 0.28); en vacas manejadas en sistemas de ordeño automatizado se reportaron valores de 0.47 a 0.58 para FMd⁽²⁷⁾; en forma similar, en vacas Holstein, Holstein-Friesian italianas⁽²⁸⁾ bajo ordeña tradicional, se obtuvo una heredabilidad alta (0.50) para el flujo inicial de la leche y alta (0.54) para el FMx.

En el Cuadro 5 se presentan las correlaciones genéticas para las características estudiadas. Se estimó una correlación negativa para la PLe y CE (-0.167); otros autores⁽²⁹⁾, también reportaron una correlación negativa (-0.12), lo que sugiere que la selección realizada para incrementar la producción de leche decrece la CE.

Para PLe y FMd, se estimaron correlaciones negativas (-0.612), al igual que para PLe y FMx (-0.767); en contraste, otros autores⁽³⁰⁾ trabajando con vacas Jersey en clima tropical estimaron correlaciones genéticas positivas para estas características (0.46 a 0.89). Lo anterior debe revisarse, ya que si las correlaciones genéticas fueran negativas como aquí se reporta, el incremento en tiempo de ordeña no será proporcional al incremento en producción al disminuir el flujo de leche con mermas importantes en la eficiencia de ordeño.

Cuadro 5: Correlaciones genéticas entre la producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	PLe	CE	FMd	FMx
PLe	1	-0.167	-0.612	-0.767
CE		1	0.3546	0.5351
FMd			1	0.7422
FMx				1

Las relaciones CE, con FMd y FMx, fueron 0.35 y 0.53, respectivamente, valores contrastantes a los reportados por algunos autores, quienes trabajaron con cabras lecheras y mostraron una relación negativa para el FMx y CE (-0.003)⁽³¹⁾.

Las correlaciones positivas encontradas entre las características de flujo y de conductividad permiten inferir que los programas de selección podrán ser basados en una de las tres características y mostrar avances. Sin embargo, las correlaciones negativas entre producción

de leche y estas características, sobre todo con las de flujo, son resultados contrarios a lo reportado por otros autores⁽³⁰⁾ y presentan un reto para los productores, ya que producción de leche es la característica económicamente más importante en nuestro sistema de producción y su mejora implica deterioro en las otras características.

Las correlaciones entre las características de flujo de la leche fueron positivas altas (0.74), por lo que no es necesario seleccionar para ambas variables cuando se desee incrementar el flujo de la leche.

Los presentes resultados permiten entender mejor las relaciones entre los flujos (medio y máximo), la conductividad y la producción de leche, e indican que la selección realizada para incrementar la producción de leche ha disminuido la CE, lo que implica que los niveles promedio de CE deberán ser recalculados periódicamente para poder interpretar este parámetro correctamente. Sin embargo, este mejoramiento de PLe está asociado a disminuciones en los flujos de leche, por lo que existe el potencial de mejorar la eficiencia de la producción de leche acortando la duración de las ordeñas a través del incremento del flujo, con los ahorros consecuentes en los costos de ordeña. La correlación genética negativa hará que la selección de estas características de manera individual sea difícil, y su mejoramiento requerirá del desarrollo de índices de selección que permitan mejorar ambas características a la vez.

Agradecimientos y conflicto de interés

El presente trabajo se desarrolló como parte de las actividades del proyecto “Estimación de la producción de metano y su relación con la población de microorganismos metanogénicos en el rumen, la producción y composición de leche y la eficiencia de producción de vacas Holstein manejadas bajo un sistema de ordeño robotizado”, con número de SIGI 20545434558, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP.

Los autores expresan que no existe conflicto de interés alguno.

Literatura citada:

1. Magofke J, García X, González U, Gargiullo A. Parámetros genéticos en bovinos de leche. I. Antecedentes bibliográficos. *Avances Prod Anim* 2001;26:31-48.
2. Cerón M, Tonhati H, Costa C, Solarte C, Benavides O. Factores de ajuste para producción de leche en bovinos Holstein colombiano. *Rev Col Cienc Pecu* 2003;16(1):26-32.

3. Salvador A, Martínez G. Factors that affect yield and composition of goat milk: A bibliographic review. *Rev Fac Cienc Vet* 2007;48(2):61-76.
4. Oldenbroek K, van der Waaij L. Textbook of animal breeding: Animal breeding and genetics for BSc students. Wageningen: Centre for Genetic Resources and Animal Breeding and Genomics Group. Wageningen University and Research Centre. 2014; 311.
5. Zwald NR, Weigel KA, Chang YM, Welper RD, Clay JS. Genetic evaluation of dairy sires for milking duration using electronically recorded milking times of their daughters. *J Dairy Sci* 2005;88(3):1192-1198.
6. Laureano MM, Bignardi AB, El Faro L, Cardoso VL, Albuquerque LG. Genetic parameters for first lactation test-day milk flow in Holstein cows. *Animal* 2011;6(1): 31-35.
7. Wiggans GR, Thornton LLM, Neitzel RR, Gengler N. Short Communication: Genetic evaluation of milking speed for Brown Swiss dairy cattle in the United States. *J Dairy Sci* 2007; 90:1021-1023.
8. Santos L, Brügemann K, Simianer H, König S. Alternative strategies for genetic analyses of milk flow in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2015;98:8209–8222.
9. Tancin V, Bruckmaier RM. Factors affecting milk ejection and removal during milking and suckling of dairy cows. *Vet Med-Czech* 2001;46(4):108-118.
10. Moore-Foster R, Norby B, Schewe RL, Thomson R, Bartlett PC, Erskine RJ. Herd level variables associated with delayed milk ejection in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci* 2019;102:696–705.
11. Erskine RJ, Norby B, Neuder LM, Thomson RS. Decreased milk yield is associated with delayed milk ejection. *J Dairy Sci* 2019;102:6477–6484.
12. Tancin V, Ipema B, Hogewerf P, Macuhova J. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J Dairy Sci* 2006;89:978-988.
13. Wieland M, Sipka A. Comparison of 2 types of milk flow meters for detecting bimodality in dairy cows. *J Dairy Sci* 2023;106:1078–1088.
14. Upton J, Browne M, Silva PB. Effect of milk flow rate switch-point settings on cow comfort and milking duration. *J Dairy Sci* 2023;106:2438–2448.
15. Roca A. Estudio de la conductividad eléctrica de la leche de oveja Manchega como método de detección de mamitis [Tesis doctoral]. Orihuela, España: Universidad Miguel Hernández; 2017.

16. Norberg E, Hogeveen H, Kordgaard IR, Friggens NC, Sloth KH, Lovendahl P. Electrical conductivity of milk: Ability to predict mastitis infection status. *J Dairy Sci* 2004;82(4):1555-1564.
17. Norberg E. Electrical conductivity of milk as a phenotypic and genetic indicator of bovine mastitis: A review. *Livest Prod Sci* 2005;96(2-3):129-139.
18. Zeconni A, Piccinini R, Giovannini G, Casirani G, Panzeri R. Clinical mastitis detection by on-line measurements of milk yield, electrical conductivity and milking duration in commercial dairy farms. *Milchwissenschaft* 2004;59(5):240-244.
19. De Koning C. Automatic milking—common practice on dairy farms. The First North American Conference on Precision Dairy Management. 2010.
20. Lyons N, Gargiulo J, Clark C, Garcia S. Technology and robotic milking in dairy production. *Encyclopedia of Dairy Science*. 3ra ed. USA: Academic Press; 2022.
21. Ossa GA, Suarez MA, Perez JE. Valores genéticos de caracteres productivos y reproductivos en bovinos Romosinuano. *Rev Corpoica* 2008;9(1):93-101.
22. Galeano, AP, Manrique C. Estimación de parámetros genéticos para características productivas y reproductivas en los sistemas doble propósito del trópico bajo Colombiano. *Rev Med Vet Zoot* 2010;57(2):119-131.
23. Toledo H, Ruiz F, Vásquez C, Berruecos J, Elzo M. Parámetros genéticos para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Rev Mex Cienc Pecu* 2014;5(4):443-457.
24. Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee D. BLUPF90 and related programs (BGF90). 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 2002;19-23.
25. Jouzaitiené V, Juozaitis A, Brazauskas A, Zymantiene J, Zilaitis V, Antanaitis R, Stankevicius R, Bobiniene R. Investigation of electrical conductivity of milk in robotic milking system and its relationship with milk somatic cell count and other quality traits. *JVE* 2015;3(3):63-70.
26. Povinelli M, Gallo L, Carnier P, Marcomin D, Dal Zotto R, Cassandro M. Genetic aspects of milk electrical conductivity in Italian Brown cattle. *Italian J Anim Sci* 2016; 4:169-171.
27. Pedrosa VB, Boerman JP, Gloria LS, Chen S, Montes ME, Doucette JS, Brito LF. Genomic-based genetic parameters for milk ability traits derived from automatic milking systems in North American Holstein cattle. *J Dairy Sci* 2023;106:2613–2629.

28. Samore A, Roman-Ponce S, Vacirca F, Frigo E, Canavesi F, Bagnato A, Maltecca C. Bimodality and the genetics of milk flow traits in the Italian Holstein-Friesian breed. *J Dairy Sci* 2011;94:4081-4089.
29. Brazauskas A, Juozaitis A, Stankevicius R, Jouzaitiene V, Zilaitis V. The influence of pasturable and stall period diets of dairy cows on the electrical conductivity of milk. *Zemdirbyste-Agriculture* 2013;100(4):363-368.
30. Samaraweera AM, Boerner V, Disnaka S, Van der Werf JHJ, Hermesh S. Genetic parameters for milk yield, milk electrical conductivity and milk flow rate in first-lactation Jersey cows in Sri Lanka. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 2019;23:135-138.
31. Slyziene B, Anskienė L, Slyzius E, Juozaitienė V. Relationship of milking traits and somatic cell count and electrical conductivity of goat milk during different milking phases. *Mljekarstvo* 2020;70(4):292-299.