

Efecto de la temperatura ambiente en la producción de leche de vacas Holstein en el departamento de Nariño, Colombia

Effect of environmental temperature on milk production of Holstein cows in the department of Nariño, Colombia

Carmen del Rocío Trejo Casanova ^{1,5}, Hugo Sánchez Guerrero ^{1,6}, Edmundo Andrés Timarán Rivera ^{2,7}, Álvaro Javier Burgos Arcos ^{3,8}, Carlos Eugenio Solarte Portilla ^{3,9}, Juan Camilo Rivera Palacio ^{4,10}, Raúl Andrés Molina Benavides ^{1,11}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Colombia. ²Agrosavia. Centro de Investigación Obonuco. Obonuco, Nariño, Colombia.

³Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. ⁴Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF). Müncheberg, Alemania.

⁵ cdtrejoc@unal.edu.co; ⁶ hsanchezgu@unal.edu.co; ⁷ etimaran@agrosavia.co; ⁸ alvaro.burgos@udenar.edu.co;

⁹ csolarte@udenar.edu.co; ¹⁰ juancamilo.rivera@zalf.de; ¹¹ ramolinab@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v72n1.97481>

2023 | 72-1 p 97-102 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2021-07-26 Acep.: 2023-09-11

Resumen

La temperatura ambiental es un factor influyente en el bienestar animal y su impacto se refleja principalmente en la salud y productividad. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura ambiental mínima sobre producción y calidad de leche en vacas Holstein, realizando control lechero en fincas del departamento de Nariño (Pasto, Pupiales y Guachucal). Se registró el volumen de leche producido por vaca en el día del control y se obtuvieron muestras de leche para su posterior análisis (grasa, proteína, sólidos totales y células somáticas). La información de temperatura ambiente se obtuvo de las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) cercanos a los hatos. Se empleó un modelo lineal mixto que contempla el efecto fijo de la temperatura ambiental mínima, número de parto, días de lactancia y, como efecto aleatorio, el distrito lechero. Los resultados muestran que la composición de la leche y el conteo de células somáticas no fueron afectados por las temperaturas ambientales mínimas, pero sí hay un efecto significativo sobre la producción de vacas con seis o más partos, pues se dio una disminución de hasta 2.6 l. Esta reducción en la producción de leche posiblemente se atribuye a la disminución del consumo y a la utilización de la energía para la producción de calor y mantenimiento de la temperatura corporal como mecanismo de supervivencia. Para posteriores investigaciones se sugiere incluir variables fisiológicas del animal (temperatura corporal, consumo de materia seca, niveles de cortisol) y del ambiente (precipitación, viento, humedad relativa, radiación solar).

Palabras clave: bovinos, células somáticas, composición, estrés por frío, pastoreo.

Abstract

Environmental temperature is an influential factor in animal welfare and its impact reflects mainly on health and productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of the minimum environmental temperature on the production and quality of milk of Holstein cows, performing milk controls in farms of the department of Nariño (Pasto, Pupiales and Guachucal). The milk volume produced per cow was recorded on the control day and milk samples were obtained for subsequent compositional analysis (fat, protein, total solids, and somatic cells). The information about the environmental temperature was obtained from the weather stations of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (Ideam) close to the herds. A linear mixed model was used to determine the fixed effect of the minimum environmental temperature, calving rate, lactation cycle and, as a random effect, the dairy district. The results showed that neither the milk composition nor the somatic cell count were affected by the minimum environmental temperatures, but there was a significant effect on the production of cows with six or more calves, with a decrease of up to 2.6 l. This reduction in milk production is possibly attributed to the decrease in consumption and the energy used to generate heat and maintain body temperature as a survival mechanism. For further investigations, it is suggested to include physiological variables of the animal (body temperature, respiratory rate, dry matter intake, cortisol levels) and of the environment (precipitation, wind, relative humidity, solar radiation).

Keywords: cattle, somatic cell, composition, cold stress, grazing.

Introducción

La ganadería en Colombia contribuye con el 1.4 % del PIB nacional, aporta el 21.8 % del PIB agropecuario y 48.7 % del PIB pecuario, y, según la orientación del hato, el 6 % corresponde a sistemas de producción de leche (Fedegan, 2020). Por otro lado, la producción de leche en el trópico alto de Nariño se desarrolla en zonas ubicadas entre los 2500 y 3300 m s. n. m. (Apráez, Gálvez, y Apráez, 2019) entre 3050-3300 msnm; zona 2.

Los tratados de libre comercio que Colombia ha firmado con países, como Estados Unidos y la Unión Europea, se han traducido en una presión por mejorar la eficiencia y competencia de los sistemas productivos (Carulla y Ortega, 2016). Además, las dificultades o retos de la ganadería no solo están asociados con el ámbito económico, ya que el mayor reto es afrontar de manera inmediata y precisa los efectos negativos del cambio climático, pues se consideran posibles pérdidas en la producción de leche del 7.6 % y carne de hasta 2.2 %, con una mayor repercusión en la zona de Nariño, Caquetá, Casanare, Cundinamarca y Córdoba (Tapasco *et al.*, 2015).

Dadas las condiciones agroclimáticas del departamento de Nariño, donde la producción lechera es la principal actividad económica, es necesario estudiar el efecto de las condiciones ambientales sobre la ganadería para identificar estrategias que permitan mitigar su impacto, de tal forma que sean apropiadas por parte de los productores de la región. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la baja temperatura ambiente sobre la producción y la calidad de la leche bovina en el departamento de Nariño.

Materiales y métodos

Zona de estudio e información recopilada

El trabajo se realizó con información ganadera de predios dedicados a la producción de leche bajo condiciones de pastoreo en el departamento de Nariño. Los datos registrados se obtuvieron de 78 fincas ganaderas bovinas especializadas en la producción de leche, cuya distribución es la siguiente: Pasto (21 hatos, 513 vacas), Pupiales (22 hatos, 817 vacas) y Guachucal (35 hatos, 1428 vacas). Todos ellos están ubicados entre 2500 y 3100 m s. n. m., con temperaturas medias entre 8 y 13°C, humedad relativa 75 y 81 %.

Se analizaron 31 079 datos obtenidos desde septiembre de 2016 hasta junio de 2018, de 2758 vacas de la raza Holstein. Los datos fueron recogidos con reportes de control lechero cada 21 días, los cuales consistieron en medir y registrar el valor total de producción de leche por día de cada animal.

Para la determinación de la composición de las muestras de leche se empleó el equipo MilkoScan™ FT1 FOSS, que cuantifica el porcentaje de grasa, proteína, sólidos totales según el procedimiento y protocolo establecido por el fabricante.

Para calcular la cantidad de células somáticas se empleó el equipo Ekomilk Scan (EKOMS) y se empleó el logaritmo propuesto por Ali y Shook, (1980), para obtener una distribución normal, es decir, cambiar el número de células (CCS) en puntuación de células somáticas (CCScore) mediante la fórmula:

$$\text{CCScore} = \log_2 (\text{número de células}/100\ 000) + 3$$

Las variables de número de parto se categorizaron en parto 1 (Par1), parto 2 (Part2), parto 3 (Par 3), parto 4-5 (Par 4-5) y parto mayor a 6 (Par>6). Así mismo, se categorizaron los días de lactancia; de 5-105 días, 105-205 días y 205-305 días.

Por otra parte, en este estudio se empleó la variable de temperatura mínima ambiental registrada por las estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam, 2019).

Para evaluar el efecto de las bajas temperaturas en las vacas, se formaron tres grupos a partir de los cuantiles de la variable anteriormente explicada, para así obtener tres factores de temperatura mínima baja, de la siguiente manera: temperatura 1: entre 0 °C a 5.9 °C (Temp1), temperatura 2: entre 5.9 °C a 7.2 °C (Temp2) y temperatura 3: >7.2 °C (Temp3).

Modelo estadístico

Debido a la estructura y relación encontrada entre los datos, la información se analizó a partir de un modelo lineal mixto (Galecki y Burzykowski, 2013), de la siguiente manera:

Modelo lineal mixto:

$$Y_{ijkm} = T_{mini} + NP_j + DL_k + (T_{mini} * NP_j) + \text{Distrib} + E_{ijkm}$$

Donde:

Y_{ijkm} : producción (l)/composición de leche (%) - células somáticas (Score).

T_{mini} : efecto fijo de los 3 factores de temperatura mínima.

NP_j : efecto fijo del número de partos.

DL_k : efecto fijo de los tercios de lactancia.

$T_{mini} * NP_j$: efecto fijo de la interacción entre la temperatura y el número de partos.

Distrib : efecto aleatorio del distrito.

E_{ijkm} : efecto aleatorio residual.

Para ver el efecto de los factores fijos se utilizó un análisis de devianza tipo III mediante el test de Wald y Chi cuadrado (Seltman, 2018) y se compararon

las medias usando una prueba de comparaciones múltiples por Tukey. Este análisis fue realizado empleando el lenguaje R versión 4.0.2 y Rstudio (1.3) junto con los paquetes lme4 efectos lineales (1.1-25) y nlme efectos lineales y no lineales (3.1-150) para el análisis del modelo mixto; así como lsmeans medias de mínimos cuadrados (2.30-0) para el análisis de comparación de medias y car (3.0-10) para el análisis de devianza.

Resultados

Datos ambientales

La temperatura mínima se registró en los meses de septiembre de 2016, febrero, septiembre, diciembre de 2017 y enero de 2018, con valores de 6.82, 6.92, 6.5, 6.9 y 6.8 °C, respectivamente (Tabla 1, Figura 1). Esta variación, tanto de temperatura mínima como de la producción de leche durante el periodo de muestreo, presenta una leve relación en el comportamiento de la información, ya que la producción de leche se vio afectada en los periodos más fríos durante el tiempo de la investigación.

Datos de producción de leche

En la Tabla 2 se presentan, en general, los promedios de producción de leche de los tres distritos en el periodo de estudio. Los valores encontrados son superiores al promedio reportado por Cañas, Cerón y Corrales (2012) para vacas Holstein en Colombia, y correspondió a 16.64±6.3 l. En la presente investigación no se evidencia alta variabilidad en el promedio de producción.

Tabla 1. Descripción de estaciones meteorológicas utilizadas

Distrito	Estación meteorológica	Ubicación (latitud, longitud)	Altitud (m s. n. m.)
Pasto	Botana - 52055210	1.1610°, -77.2788°	2820
	Obonuco - 52045010	1.1982°, -77.2788°	2710
Pupiales	San Luis - 52055230	0.8570°, -77.6777°	2961
	Común - 52045090	0.9326°, -77.6295°	3141
Guachucal	Paraíso - 52055220	1.0706°, -77.6368°	3120

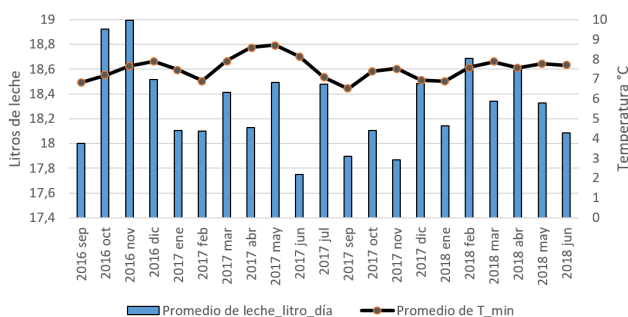


Figura 1. Relación producción de leche y promedio de temperatura mínima.

Efecto de la temperatura mínima y del número de parto sobre la producción de leche

El número del parto tuvo un efecto en la producción de leche (Tabla 3), ya que la mayor producción se observó en los partos 2 a 5, los cuales presentaron un mejor comportamiento que las vacas de 1 y de 6 partos en adelante. Estos resultados no difieren de los encontrados por Carvajal, Valencia y Segura (2002).

La producción de leche disminuyó en 2.6 litros/día cuando la temperatura ambiente estaba por debajo de 5.9°C en el grupo de vacas con seis a doce lactancias.

Datos de calidad composicional de leche

Grasa láctea

En relación con los porcentajes de grasa, los datos mostraron un comportamiento similar en los tres escenarios de temperatura y número de parto, por lo tanto, el análisis estadístico no presentó diferencias significativas en las comparaciones establecidas para la investigación (Tabla 4).

Proteína

El porcentaje de proteína (Tabla 5), no presentó diferencias estadísticas significativas en las comparaciones entre temperaturas, aunque los valores más bajos se encuentran en el grupo Par6-12, y el más alto se ubicó en el grupo Par2.

Sólidos totales

Los resultados de sólidos totales (Tabla 6) mostraron que no hay diferencias significativas entre las comparaciones, por lo tanto, en esta investigación no se encontró efecto de la variable ambiental, ni del número de parto en el porcentaje de sólidos totales.

Células somáticas CCSscore

Los resultados indican una puntuación (score) de células somáticas de 3.93, 3.78 y 3.77 para Temp1, Temp2 y Temp3 respectivamente (Tabla 7).

Discusión

Efecto de la baja temperatura ambiente y del número de parto sobre la producción de leche

En trabajos realizados por Cañas, Cerón y Corrales (2012), los autores reportaron que la variable promedio de producción al inicio de la lactancia, la producción en el pico de lactancia y la producción total a 305 días incrementaron a medida que aumentaba el número de partos solo hasta el 4° parto, y se presentaba una disminución después del 6° parto.

Tabla 2. Promedios de producción de leche mensual entre septiembre de 2016 y junio de 2018

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Sept	Oct	Nov	Dic
2016	-	-	-	-	-	-	-	18	18.93	18.99	18.52
2017	18.1	18.1	18.41	18.13	18.49	17.75	18.48	17.9	18.1	17.87	18.48
2018	18.14	18.69	18.34	18.6	18.33	18.09	-	-	-	-	-

Tabla 3. Promedio de la producción de leche de 1 vaca por día, según temperatura y parto

Temperatura	Par1	Par2	Par3	Par4-5	Par6-12
Temp1 (<5.9 °C)	15.4 ^b	18.0 ^a	18.9 ^b	20.1 ^b	17.1 ^c
Temp2 (5.9 °C-7.2 °C)	15.8 ^a	17.8 ^a	19.2 ^b	20.0 ^{ab}	18.4 ^b
Temp3 (>7.2 °C)	16.1 ^a	18.2 ^a	20.2 ^a	20.6 ^a	19.7 ^a

*Letras iguales en el mismo grupo no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Tabla 4. Porcentaje de grasa de la leche según el número de parto y temperatura

Partos	Temp1	Temp2	Temp3
Par1	3.68 ^a	3.67 ^a	3.71 ^a
Par2	3.74 ^a	3.71 ^a	3.75 ^a
Par3	3.66 ^a	3.63 ^a	3.74 ^a
Par4-5	3.69 ^a	3.62 ^a	3.66 ^a
Par6-12	3.68 ^a	3.63 ^a	3.64 ^a

*Letras iguales en el mismo grupo no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Teniendo en cuenta los datos de producción de leche, se observa que en el parto 4-5 hay un promedio de 20 l, mientras que en el trabajo mencionado la producción es de 17 l a nivel nacional. Esto puede ser atribuido a una mejor selección genética acompañada de adecuadas condiciones de manejo en la finca.

Además, se observa (Tabla 3) que en el parto 2 no se presenta efecto significativo de la temperatura sobre la producción de leche, pues tuvo producciones entre 18, 17.8 y 18.2 l/día para cada una de las temperaturas evaluadas. En los partos 1, 3 y 4-6 se observa un efecto de la baja temperatura, ya que hay una reducción de 0.7, 1.3 y 0.5 l respectivamente. Por su parte, Krpalkova *et al.* (2020) encontraron bajos niveles de producción cuando la temperatura fue inferior a 0 grados, y además la mayor producción de leche se encontró cuando la temperatura mínima estaba entre 4 y 0 grados, en zonas de clima templado oceánico sin tener en cuenta el número de partos. Dicho efecto fue atribuido a la disminución del consumo de alimento y a la utilización de la energía para la producción de calor y mantenimiento de la temperatura corporal como mecanismo de supervivencia. El mismo autor manifiesta que, durante los periodos de estrés por frío, las vacas tienden a consumir menos alimento y, por lo tanto, la producción de leche y calor dependerá de la energía endógena, lo que causa pérdidas lentas de peso.

Con respecto al grupo de vacas con 6 o más partos, que representa el 10.2 % de la población estudiada (259 vacas), se presentaron diferencias significativas en los tres rangos de temperatura mínima, con una disminución de 1.3 l entre cada una de las clases de temperatura. Es importante destacar que la pérdida de leche puede llegar hasta 2.6 l cuando hay temperaturas inferiores a 5.9 °C. La disminución en los litros producidos en condiciones de baja temperatura posiblemente se debe a respuestas metabólicas y adaptaciones fisiológicas al estrés por frío (Chase, 2011).

Efecto de la baja temperatura ambiente y del número de parto sobre la composición de la leche

La producción de grasa y proteína varía en gran manera de un hato a otro, debido a varios factores. Entre estos, se puede citar la etapa de lactancia, la edad del animal, la época del año, el estado de salud del animal, problemas de mastitis, genética, nutrición y prácticas de alimentación (Henrichs y Jones, 2005). Por su parte, Stocco (2017), al evaluar 6 razas de ganado bovino, ratificó el efecto considerable de la raza en la composición de la leche. Las razas especializadas producen más leche y existe una relación inversa entre el contenido de grasa, proteína, sólidos totales y la cantidad de leche producida (Ramírez *et al.*, 2019).

Igualmente, el número de lactancias y la edad del animal causan una disminución de los valores de grasa conforme el animal envejece, como resultado de un aumento en la producción y una mayor posibilidad de infecciones de ubre (Vargas *et al.*, 2016).

Las temperaturas ambientales más bajas y más altas que las temperaturas de la zona de confort disminuyen el rendimiento y alteran muchos de los componentes de la leche (Johnson, 1965). Al respecto, Mylostyvyi y Chernenko (2019) observaron una disminución entre 17-47 g de grasa y 9-40 g de proteína de la leche. Dichas pérdidas en la composición fueron atribuidas a factores ambientales, ya que todas las vacas estuvieron en el mismo periodo de lactancia y manejo.

Por otro lado, la nutrición de vacas de leche en regiones tropicales es uno de los principales desafíos que enfrenta el productor (Edson *et al.*, 2018) debido

Tabla 5. Porcentaje de proteína según el número de parto y temperatura

Partos	Temp1	Temp2	Temp3
Par1	3.18 ^a	3.18 ^a	3.18 ^a
Par2	3.20 ^a	3.20 ^a	3.21 ^a
Par3	3.19 ^a	3.17 ^a	3.20 ^a
Par4-5	3.15 ^a	3.15 ^a	3.15 ^a
Par6-12	3.10 ^a	3.11 ^a	3.09 ^a

*Letras iguales en el mismo grupo no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Tabla 6. Porcentaje de sólidos totales en relación con el número de parto y temperatura

Partos	Temp1	Temp2	Temp3
Par1	12. ^a	12.4 ^a	12.4 ^a
Par2	12.4 ^a	12.4 ^a	12.4 ^a
Par3	12.2 ^a	12.2 ^a	12.3 ^a
Par4-5	12.2 ^a	12.2 ^a	12.2 ^a
Par6-12	12.1 ^a	12.0 ^a	12.0 ^a

*Letras iguales en el mismo grupo no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Tabla 7. Promedios de CCSscore

Temperaturas	CCSscore
Temp1 (<5.9 °C)	3.93 ^a
Temp2 (5.9 °C-7.2 °C)	3.78 ^a
Temp3 (>7.2 °C)	3.77 ^a

*Letras iguales en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

a la dependencia del consumo de pastos, cuyo desempeño está directamente relacionado con factores ambientales, como la temperatura y las precipitaciones (Ramírez *et al.*, 2019).

En relación con el componente de grasa de la leche, el grupo Par2 presentó los valores más altos, con 3.74, 3.71 y 3.75 para Temp1, Temp2 y Temp3 respectivamente. Según Fan *et al.* (2019) el estrés por calor afecta principalmente al metabolismo de lactosa, energía y nucleótidos en la glándula mamaria de vacas lecheras, por ende, podría afectar la producción y composición de la leche al alterar la ingesta de alimento y el metabolismo de sustancias en el tejido de la glándula mamaria animal.

De tal manera, el contenido de proteína está relacionado con el volumen de producción de leche, ya que se evidenció, al igual que en el contenido de grasa, que los cambios se presentaron únicamente en el grupo par6-12, en cada una de las temperaturas mínimas evaluadas. Al igual que el contenido de grasa y proteína, los sólidos totales están relacionados con el volumen de producción de leche. Teniendo en cuenta que estas variaciones se presentaron en

vacas multíparas (>6 lactancias), el resultado coincide con lo reportado por Cañas, Cerón y Corrales (2012), quienes informan que a partir de la 6^o lactancia la producción de leche disminuye.

Efecto de la baja temperatura ambiente sobre las células somáticas

En cuanto a los resultados de puntuación de células somáticas (CCSscore), estos difieren con los reportados por Jurado *et al.*, (2020), quienes encontraron valores de 3.31, 3.2 y 3.35 para las zonas lecheras de Guachucal, Pasto y Pupiales respectivamente. Sin embargo, las comparaciones no presentaron diferencias estadísticas significativas, por lo tanto, para esta investigación, la temperatura no tuvo un efecto sobre el contenido de células somáticas en leche de vacas Holstein de la cuenca lechera de Nariño. Por su parte, Guerrero, Campos y Velez (2018) encontraron que los hatos ubicados en zonas altas presentaron los mayores conteos de células somáticas en comparación con los de las zonas bajas: 414 000 vs. 262 845, respectivamente. Por ello, los autores recomiendan evaluar otros factores ambientales que puedan estar influyendo en el aumento de CCS en los hatos de zonas altas.

Conclusiones

La temperatura por debajo de 5.9 °C causó un efecto negativo que se reflejó en la disminución de la producción de leche hasta 2.6 l por vaca por día, en vacas con más de seis lactancias, por el contrario, vacas de 1^o hasta 5^o lactancia no fueron afectadas en ningún rango de temperatura analizado.

Por su parte, la composición de la leche no fue afectada por las temperaturas mínimas y de acuerdo con la distribución de partos; esta variable no influyó en la composición de la leche.

El conteo de células somáticas no fue afectado por los cambios ambientales de temperatura: según la escala de puntuación (score) los conteos se encuentran por debajo de las 200 000 células somáticas/ml, lo que representa un valor aceptable en la producción de leche.

Para futuras investigaciones se sugiere incluir en el diseño del experimento variables asociadas al animal como edad, peso vivo, tamaño, condición corporal, constantes fisiológicas, calidad y cantidad de nutrientes ingeridos y prácticas de manejo de praderas, que permitan obtener mayor información que pueda explicar la influencia del ambiente sobre la producción y calidad de la leche.

También, se deben incluir variables ambientales como precipitación, radicación solar, velocidad del viento, altitud, luminosidad y además mejorar la infraestructura tecnológica que garantice un registro confiable de estas variables.

Agradecimientos

A la gobernación de Nariño, al centro de estudios interdisciplinarios básicos y aplicados de la Fundación Ceiba y al Grupo de Investigación de Mejoramiento Genético Animal de la Universidad de Nariño.

Referencias

- Ali, K. y Shook, G. (1980). An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *Journal of Dairy Science*, 63(3), 487-490. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)82959-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)82959-6)
- Apráez, E.; Gálvez, A. y Apráez, J. (2019). Factores edafoclimáticos en la producción y calidad del pasto Saboya (*Holcus lanatus* L.) en el Altiplano de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 16-32. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.95>
- Cañas, J.; Cerón, M. y Corrales, J. (2012). Modelación y parámetros genéticos de curvas de lactancia en bovinos Holstein en Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 17(2), 2998-3003. <https://doi.org/10.21897/rmvz.234>
- Carulla, J. y Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87. https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2526
- Carvajal, M.; Valencia, E. y Segura, J. (2002). Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 13(1), 25-31. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v13i1.292>
- Chase, L. (2011). Cold Stress: Effects on nutritional requirements, health and performance. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Cornell University. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00465-9>
- Edson, C., Takarwirwa, N., Kuziwa, N., Stella, N., & Maasdorp, B. (2018). Effect of mixed maize-legume silages on milk quality and quantity from lactating smallholder dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 50, 1255-1260. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1552-4>
- Fan, C.; Su, D.; Tian, H.; Hu, R.; Ran, L.; Yang, Y.; Su, Y. y Cheng, J. (2019). Milk production and composition and metabolic alterations in the mammary gland of heat-stressed lactating dairy cows. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(12), 2844-2853. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62834-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62834-0)
- Fedegan. (2020). *Cifras de referencia del sector ganadero colombiano*. Fedegan, 49. https://cerodeforestacioncolombia.co/wp-content/uploads/2021/02/Cifras_Referencia_2020.pdf
- Gałecki, A. y Burzykowski, T. (2013). *Linear mixed-effects models using R*. Nueva York: Springer Texts in Statistics. <https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Gałecki2013Selection.pdf>
- Guerrero, J.; Campos, R. y Vélez, M. (2018). Factores ambientales asociados y métodos de determinación de células somáticas en leche de tanque. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 80-90. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6560697>
- Henrichs, J. y Jones, C. (2005). Milk components: Understanding milk fat and protein variation in your dairy herd. *Penn State Extension*, 1-12. http://209.15.96.220/dairyasiathailand/wp-content/uploads/2016/10/19.-Milk-components_-Understanding-the-causes-and-importance-of-milk-fat-and-protein-variation-in-your-dairy-herd.pdf
- Ideam. (10 de abril de 2019). Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales. Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Johnson, H. (1965). Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). *International Journal of Biometeorology*, 9(2), 103-116. <https://doi.org/10.1007/BF02188466>
- Jurado, H.; Solarte, C.; Burgos, Á.; González, A. y Rosero, C. (2020). Relationship of the compositional content and sanitary quality of Holstein cows' milk of the high tropic of Nariño. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(2), 421-434. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11I2.5118>
- Krpalkova, L.; Mahony, N.; Carvalho, A.; Campbell, S.; Harapanahalli, S. y Walsh, J. (2020). Influence of environmental temperature on dairy herd performance and behaviour. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 14(9), 129-133. https://www.researchgate.net/publication/345636776_Influence_of_Environmental_Temperature_on_Dairy_Herd_Performance_and_Behaviour
- Mylostyyvi, R. y Chernenko, O. (2019). Correlations between environmental factors and milk production of holstein cows. *Data*, 4(3), 4-11. <https://doi.org/10.3390/data4030103>
- Ramírez, E.; Rodríguez, J.; Huerta, I.; Cárdenas, A. y Juárez, J. (2019). Tropical milk production systems and milk quality : A review. *Tropical Animal Health and Production*, 51, 1295-1305. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>
- Seltman, H. J. (2018). *Experimental design and analysis*. <https://www.stat.cmu.edu/~hseltman/309/Book/Book.pdf>
- Stocco, G. (2017). *Characterization of new technological and nutritional properties of milk from cows of 6 breeds*. Univesita degli studi di Padova. <https://www.research.unipd.it/handle/11577/3424725>
- Tapasco, J.; Martínez, J.; Calderón, S.; Romero, G.; Ordóñez, D.; Álvarez, A.; Sánchez, L. y Ludeña, C. (2015). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia: sector ganadero*. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía n.º 254, Washington D. C. <https://publications.iadb.org/es/impactos-economicos-del-cambio-climatico-en-colombia-sector-ganadero>
- Vargas, D.; Murillo, J.; Hueckmann, F. y Romero, J. (2016). Valores de la relación grasa/proteína y nitrógeno ureico en leche de vacas lecheras de la zona norte de Alajuela y Heredia, Costa Rica. *Revista de Ciencias Veterinarias*, 34(506), 67-80. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/veterinaria/article/download/9030/10519/>