



2

Facultad de Ciencias Agropecuarias

ISSN L 2644-3856

Revista Investigaciones Agropecuarias

Volumen 2, N°1. pp. 18-33
Diciembre 2019 - Mayo 2020

Panamá

Recepción: 5 de septiembre de 2019

Aceptación: 3 de diciembre de 2019

INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE DE DOS REBAÑOS HOLSTEIN EN LA CUENCA LECHERA DE CHIRIQUÍ

Reggie Guerra Montenegro^{1,2*}, Alberto Menéndez Buxadera³, Arelis Hernández Rodríguez⁴

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro de Investigaciones en Biotecnologías Agropecuarias (CIBA)

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia

³Consultor Independiente, USA.

⁴Instituto de Ciencia Animal, Departamento de Rumiantes, Mayabeque, Cuba.

* rguerram09@gmail.com, contact@ambuxadera.com, arelishdez@ica.co.cu

RESUMEN

Para estudiar el efecto de algunos factores ambientales en la producción de leche se dispuso de los pesajes de leche (PDC) de dos rebaños Holstein en la cuenca lechera de Chiriquí que comprendió los años 1996-2016. La temperatura ambiental se obtuvo de dos estaciones meteorológicas próximas a los rebaños. Se aplicó un modelo mixto con el padre como efecto aleatorio. Se analizó la influencia de los efectos de rebaño, edad al parto, número de partos, temperatura e interacciones entre ellos en las PDC. Los resultados mostraron diferencias ($p < .0001$) para todos los efectos incluidos. La producción diaria promedio fue de 22,30 kg/día y acumulado a 305 días de 6774,05 kg. La duración de la lactancia fue de 349 ± 93 días. Los efectos de edad al parto en la producción diaria de leche mostraron un patrón de aumentos sostenido hasta los seis años de edad (tercer parto). El rebaño uno duplicó su producción mientras que en el rebaño dos se incrementó en 40%. Se identificaron dos zonas con relación a temperatura máxima, una de tolerancia donde no se manifestaron efectos importantes en la producción de leche, y otra de estrés térmico con un coeficiente de regresión de -0,268, y donde el 42,6% de los registros de PDC fueron medidos en condiciones de estrés térmico. Se concluye que los factores ambientales evaluados afectaron la producción de leche y deben ser considerados al implementar programas de evaluación genética para la zona estudiada.

PALABRAS CLAVES: producción de leche, Holstein, factores ambientales, temperatura, estrés térmico.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE PRODUCTION OF TWO
HOLSTEIN DAIRY HERDS IN THE CHIRIQUÍ DAIRY BASIN

ABSTRACT

The aim of the study was to measure the effect of some environmental factors in the milk production of two Holstein herds in the Chiriquí dairy basin, including milk weighing (PDC) among 1996 and 2016. The environmental temperature was obtained from two weather stations near the herds. A mixed model was applied with sire as a random effect. It was analyzed the effect of herd, age at birth, number of births, temperature and interactions among them on the PDC. The model showed differences ($p < .0001$) for all the effects included. The average daily production was 22.30 kg / day and 6774.05 kg accumulated at 305 days. The duration of breastfeeding was 349 ± 93 days. The effects of age at birth on daily milk production showed a pattern of sustained increases until six years of age (third birth). Herd one doubled its production while in herd two in which the increases were of the order of 40%. Two thermal zones were identified in relation to maximum temperature, first called tolerance zone where no significant effects in milk production, and another zone called thermal stress (ST) with a regression coefficient -0.268, and 42.6% of the PDC records were measured under ST conditions. It is concluded that the environmental factors evaluated affected milk production and should be considered in genetic evaluation programs for the studied area.

KEYWORDS: milk yield, Holstein, environmental factors, temperature, thermal stress.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la productividad del ganado lechero es un componente esencial en los planes trazados por las autoridades de Panamá (SENAPAN, 2017). Sin embargo, esta tarea es compleja debido a los múltiples factores que la afectan entre los que se mencionan limitados programas de mejoramiento genético bovino y los cuales fueron analizados en detalle por Guevara, (2012).

De acuerdo a Cerón-Muñoz *et al.* (2003), los factores ambientales influyen directamente en la producción de leche y deben ser controlados previamente en las evaluaciones genéticas para poder comparar individuos que están sometidos a diferentes condiciones ambientales de manera confiable. El mismo autor indica que los principales efectos ambientales envuelven características de desempeño de la vaca (duración del periodo seco anterior al parto, duración del periodo parto-concepción, días en lactancia, entre otros), efectos causados por el manejo o nivel de producción de las haciendas (número de ordeñas diarias, el sistema de alimentación, el sistema de ordeño, entre otros), aquellos causados por el ciclo de vida (la edad y el número de partos de la vaca), así como factores climáticos (altitud, latitud, temperatura, humedad relativa, precipitaciones).

En Panamá la producción de leche no cubre la demanda de la población, por lo que de acuerdo a INEC (2016) 100 millones de kg anuales deben ser importados. Según el mismo informe, la cuenca lechera de Chiriquí es la región más productora de leche con un aporte del 58% de la leche bovina grado A o de consumo directo en Panamá, además que en ella se encuentran rebaños que cuentan con registros computarizados del manejo tanto productivo como genealógico que permite la realización de este tipo de estudios.

Es importante señalar que la raza Holstein es considerada la mayor productora de leche a nivel mundial y se ha diseminado a través de todos los países del continente y Panamá no ha sido la excepción. No obstante, hasta el presente hay pocos estudios para esta raza que muestren su comportamiento en las condiciones ambientales del país (Guerra & Arosemena, 2002; Araúz *et al.* 2010; Batista, 2011; Guerra *et al.*, 2018).

Por tanto, se planteó como objetivo que estudiar los efectos de algunos factores ambientales que afectan la producción de leche de vacas Holstein de dos rebaños en la cuenca lechera de Chiriquí brindará información confiable que permitirá planificar estrategias de manejo y de evaluación genética acordes a las condiciones donde los mismos se desarrollan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se dispuso de la información de los pesajes de leche (PDC) de lactancias registradas entre los años 1996-2016 de vacas Holstein de dos rebaños en la cuenca lechera de Chiriquí, en la República de Panamá, ubicados en las coordenadas 8°47'20.51"N - 82°41'21.18"O y 8°71'26.59"N - 82°62'32.08"O; a una altura de 1 365 metros y 1 240 sobre el nivel del mar, respectivamente.

En dicha región la precipitación anual promedio es de 3 000 mm y la temperatura media anual de 26 °C (ETESA, 2019). Es importante señalar que en dicha zona se encuentran la mayor parte de los rebaños que utilizan la raza Holstein debido a sus condiciones agroclimáticas, que permiten el uso de genotipos tipo *Bos taurus*, a diferencia de las que se presentan en el resto del país, tal como indicó un análisis del sector lechero realizado por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, 2013).

Toda la información productiva, como de manejo y reproducción en ambos rebaños fue registrada a partir de anotaciones de campo, con la ayuda del programa VAMMP LECHERO V.3.0 desarrollado por el CRIPAS (Centro Regional de Investigación para la Producción Animal Sostenible) de la Universidad Nacional de Costa Rica de acuerdo a la metodología descrita por Noordhuizen y Buurman, (1984). A partir de esta información se estructuró un fichero de datos denominado DATA.

La información de temperatura máxima (TMAX) se recolectó de dos estaciones pertenecientes a la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA), localizadas en un radio de 15 kilómetros de distancia de los rebaños estudiados, lo cual es un rango aceptable para cuantificar la influencia de variables climáticas en la producción de leche de acuerdo a estudios similares (Bohmanova *et al.*, 2007; Brügemann *et al.*, 2011). Esta información se recabó en un fichero denominado CLIMA donde el valor de TMAX para cada fecha correspondió al promedio de los 7 días previos a la fecha del PDC.

La base de datos original DATA fue editada eliminando animales con edad al parto (EP) menores de 20 meses y mayores de 120, los PDC fuera del rango de la media \pm tres desviaciones estándar. La normalidad de los datos se comprobó mediante el procedimiento Univariate (SAS, 2013).

Según los días de lactancia, los PDC se agruparon en intervalos de siete días correspondientes a los días en lactancia (DEL) (DEL= 1...57 niveles), el número de lactancia (NL) se agruparon en cuatro clases (NL= 1,2,3 ...4 o más); rebaño (R=1,2); el año de parto (AP) (AP=1996, ..., 2016);

la edad al parto (EP) presentó un total de 100 niveles (EP= 20, 21, ...120 meses); y se consideró como efecto aleatorio el padre de las vacas (PADNUM = 1,2, ...277 clases) con vistas a una mejor comparación entre ambos rebaños. Además, se conformaron las combinaciones rebaño-año de parto (RAP=1,2 ... 42 niveles) y DEL-NL (DELNL=1, ...,224 niveles). Esta base de datos se denominó DATA y contenía 201 164 PDC.

La base de datos DATA y CLIMA se unieron según las fechas de PDC. Esta nueva base de datos se denominó FINAL en la cual se adicionaron los efectos de TMAX (T= 22, 23...36 °C), el año de control de la TMAX (AT=1996, ..., 2016) y la combinación rebaño-año de control de la TMAX (RT=1,2...33).

Se aplicó un modelo mixto para analizar los efectos ambientales considerados cuya notación matemática es la siguiente:

$$Y_{gijklmnop} = \mu + PADNUM_g + DEL_i + NL_j + EDAD_k + MES_l + T_m + RAP_n + RAT_o + DELNL_p + e_{gijklmnop}$$

Donde:

$$Y_{gijklmnop} = \text{PDC}$$

μ = media común para todas las observaciones.

$PADNUM_g$ = efecto aleatorio del g-ésimo semental ($g=1...277$)

DEL_i = efecto fijo del i-ésimo DEL ($i=1...57$)

NL_j = Efecto del j-ésimo NL ($j=1...4$)

$EDAD_k$ = efecto fijo de la k-ésima EP ($k=20, \dots 120$)

MES_l = efecto fijo de la l-ésimo mes de control ($l=1, \dots 12$)

T_m = efecto fijo de la m-ésima TMAX ($m=22...36$)

RAP_n = efecto fijo de la n-ésima interacción (R*AP) ($l=1...42$)

RAT_o = efecto fijo de la o-ésima interacción (R*AT) ($o=1... 33$)

$DELNL_p$ = efecto fijo de la p-ésima interacción (DEL*NL) ($m=1... 224$)

$e_{gijklmnop}$ = error aleatorio debido a cada observación $NID \sim (0, s^2e)$.

Se aplicó la dócima de Tukey-Kramer, para la comparación múltiple de las medias de los mínimos cuadrados (Kramer, 1956).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del modelo mostraron diferencias ($p < .0001$) para todos los efectos incluidos, con un coeficiente de determinación (R^2) de 54 %. La producción diaria promedio fue de 22,30 kg/día y producción acumulada a 305 días de 6774,05 kg.

Las vacas Holstein de los rebaños estudiados presentaron un comportamiento general semejante a los resultados publicados para esta raza en la región latinoamericana como los reportados por Sierra *et al.* (2017) en la sabana de Bogotá en Colombia, así como por González y WingChing-Jones, (2018) en Costa Rica, de 23 y 23,85 kg/día en promedio respectivamente.. Sin embargo, no se llega a los niveles productivos descritos para la raza en zonas templadas, por ejemplo, la P305 (6774,05 kg) representó el 55 % de lo que produce la Holstein (12346,65 kg) de Estados Unidos (Holstein Association USA, 2018).

La producción de leche a lo largo de la escala de lactancia (Figura 1) manifestó un comportamiento típico, con un aumento generalizado en los primeros 50 días y un decaimiento posterior prolongado hasta los 400 días. Este patrón fue muy similar en todas las lactancias analizadas, con una menor producción en la primera lactancia con relación a las lactancias posteriores. las medias de producción diaria por lactancia fueron de 19.4 para la primera lactancia, 22.3 para la segunda, 23.8 para la tercera y 24 de la cuarta en adelante.

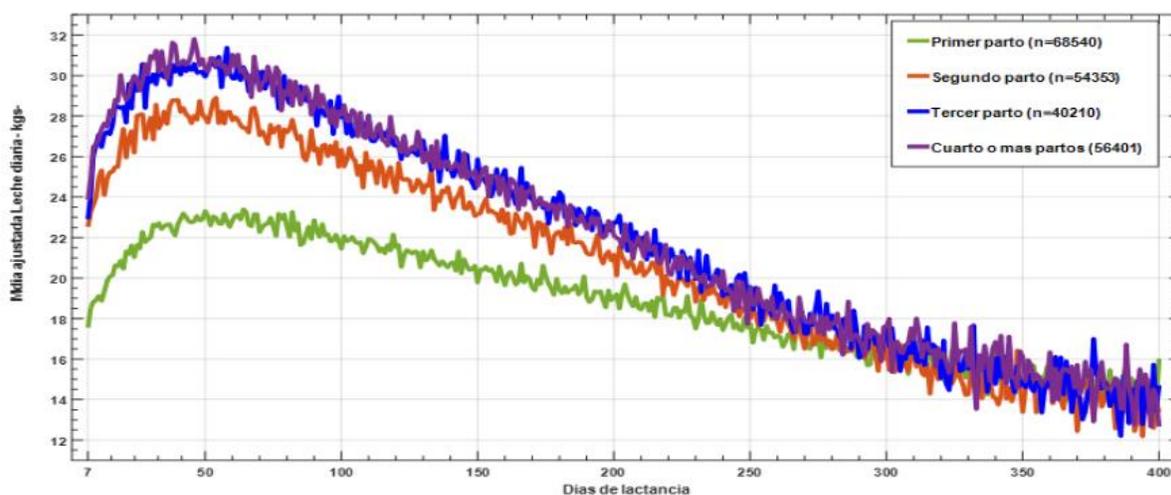


Figura 1. Comportamiento de la producción de leche a través de la lactancia de acuerdo al número de partos.

Biológicamente, la menor producción en la primera lactancia se pudo relacionar a que durante los tres primeros partos los nutrientes recibidos en la dieta deben ser compartidos para satisfacer

tanto requerimientos de crecimiento como de producción simultáneamente, principalmente en el primer parto. Según Osorio y Segura, (2005) esto obedece a que las vacas de primer parto no han terminado su desarrollo (crecimiento corporal y desarrollo de la ubre), por lo que primero satisfacen sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento en detrimento de la producción de leche. Al respecto Ray *et al.* (1992) indicaron que las vacas primíparas tienen hasta un 12 % menos de producción de leche que las vacas múltíparas.

La media de DL de los dos rebaños fue de 349 ± 93 días y el 13 % de la información de los PDC se tomó entre 305 y 400 días de lactancia. Aunque el estándar fue establecido a 305 días desde 1935 (Schaeffer, 2002), y la mayor parte de los estudios al respecto asumen este criterio como el patrón normal, en la presente investigación la duración de la lactancia fue superior.

Lactancias extendidas más allá de los 305 días publicaron Vargas-Leitón *et al.* (2000) en rebaños lecheros de Costa Rica, donde más del 25 % de las vacas se secaban después de los 330 días de lactancia y el promedio de DL fue alrededor de los 328 días; mientras que en una población de vacas Holstein de Estados Unidos más de 55 % de las lactancias se extendieron más allá de los 305 días (Dematawewa *et al.*, 2007).

Aunque la razón más conocida de prolongación de la lactancia en el ganado lechero son los problemas reproductivos (Butler, 1998; Silvia, 2003), las lactancias largas pudiesen ser parte de estrategias de manejo (Tarazon-Herrera *et al.*, 2000; González-Recio *et al.*, 2006). Por estas razones Ducrocq, (2017) informó de propuestas para evaluar la producción de leche más allá de los 305 días por parte de los encargados de los programas de evaluación genética nacional, en las reuniones de INTERBULL.

Los efectos de EP en la producción diaria de leche (Figura 2) mostraron un patrón de aumentos sostenido hasta los seis años de edad (tercer parto) que debe interpretarse como el estado adulto en esta población de vacas Holstein, lo cual coincide con datos publicados (Freitas *et al.*, 2001; Mcmanus *et al.*, 2008) para vacas Holstein en Brasil, así como en México (Toledo *et al.*, 2014), donde se reportó un menor nivel productivo en la primera lactancia y una estabilización de la producción de leche a partir de la tercera.

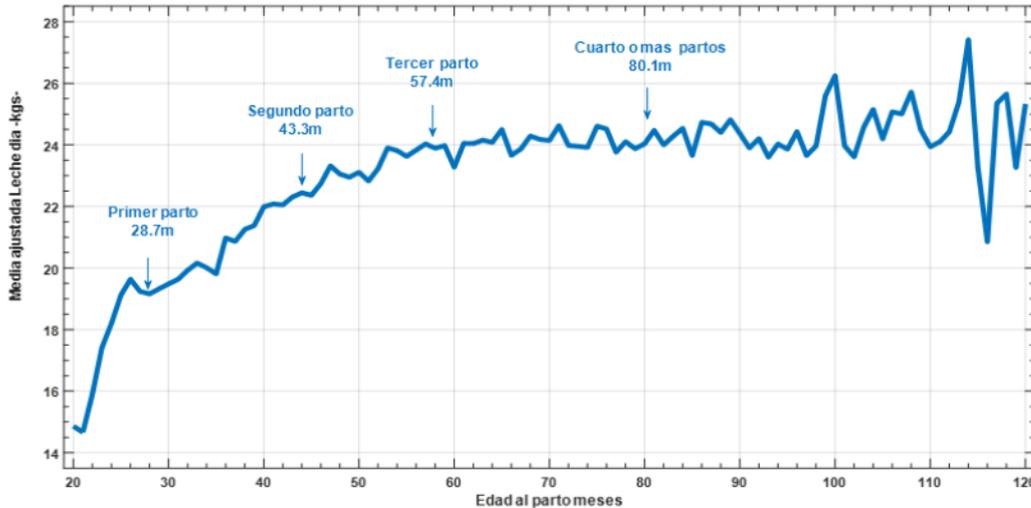


Figura 2. Efecto de la edad al parto en la producción de leche.

Este comportamiento se pudo deber a las estrategias de manejo nutricional y reproductivo durante la etapa de desarrollo de las novillas para la incorporación, así como durante el desarrollo de las lactancias subsiguientes, dado que los rebaños estudiados cuentan con un manejo especializado durante el levante de las novillas que permite cubrir requerimientos de una manera eficiente.

Estudios previos relacionados a América Latina (Abubakar *et al.*, 1986) señalaron que las vacas Holstein iniciaban la vida reproductiva tardíamente. Sin embargo, en las condiciones ambientales donde se encontraban los rebaños estudiados se observó un patrón similar al divulgado por Hare *et al.*, (2006) en condiciones de EEUU, donde se alcanzaron los primeros tres partos a 27, 40 y 58 meses de edad respectivamente. Esto es importante dado que a medida que se disminuya la edad al primer parto, mayor será el número de terneros y la leche producida por año de vida, por lo tanto, la productividad del hato también será mayor (Salazar *et al.*, 2014).

La literatura disponible al respecto en la región latinoamericana es escasa, no obstante, los resultados de Brasil, Colombia y Costa Rica (Cerón-Muñoz *et al.*, 2004; Salazar *et al.*, 2013) presentaron estimados que varían entre 30 y 32 meses para la edad al primer parto, que fueron ligeramente superiores a los 29 meses de edad obtenidos en este estudio. La edad al primer parto es un carácter de importancia económica ya que marca el inicio de la vida productiva de las vacas y en tal sentido los resultados alcanzados en el presente estudio indicaron un comportamiento adecuado.

Durante el periodo de tiempo representado en esta investigación, ambos rebaños manifestaron un significativo aumento en los niveles de producción diaria (Figura 3). Comparado con los

resultados de los partos ocurridos en 1996 se alcanzó en 2016 prácticamente el doble para el rebaño uno mientras que en el rebaño dos los aumentos fueron del orden de 40 % aproximadamente. El aumento de la producción diaria de leche a través de los años en ambos rebaños se pudo atribuir a factores como cambios en el tamaño del hato, edad de los animales y mejoras en las prácticas de manejo introducidas por los dueños de los rebaños que posibilitaron una mejor expresión del potencial productivo de los animales, al cubrir sus necesidades nutricionales de una manera más eficiente.

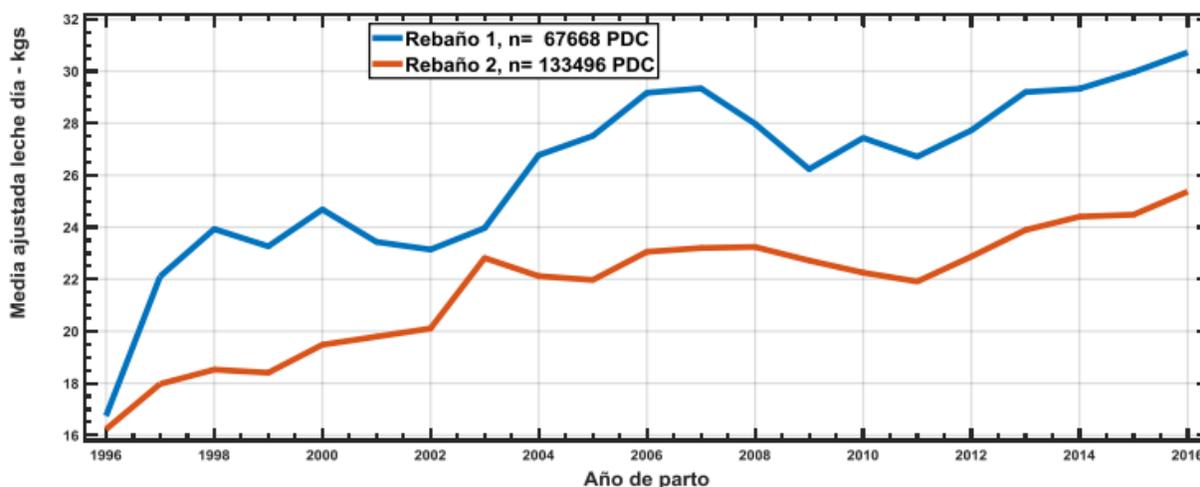


Figura 3. Comportamiento de la producción de leche en ambos rebaños durante los años evaluados.

El efecto de rebaño se ha identificado como uno de los que tiene mayor influencia en la producción de leche, hasta un 33 % (Ribas y Pérez, 1995; Ribas *et al.*, 1999) en Holstein y Siboney de Cuba. En tanto, Sahin *et al.*, (2012) indicaron que el efecto del rebaño y el AP fueron las mayores fuentes de variación para la producción de leche en vacas Holstein en Turquía.

El análisis para los efectos de TMAX indicó diferencias ($p < 0,001$) en la producción de leche. Un análisis previo a la investigación indicó que no hubo diferencias para la temperatura mínima por lo que no se consideró su efecto. La figura 4 muestra las medias mínimo-cuadráticas ajustadas, junto con la distribución porcentual del número de registros por cada nivel de TMAX. Se identificó la existencia de dos zonas de estrés térmico (ST), una denominada como de tolerancia a TMAX (22 °C-26 °C) de la cual no se manifestaron efectos importantes en la producción de leche, para luego presentarse una fase depresiva en la producción.

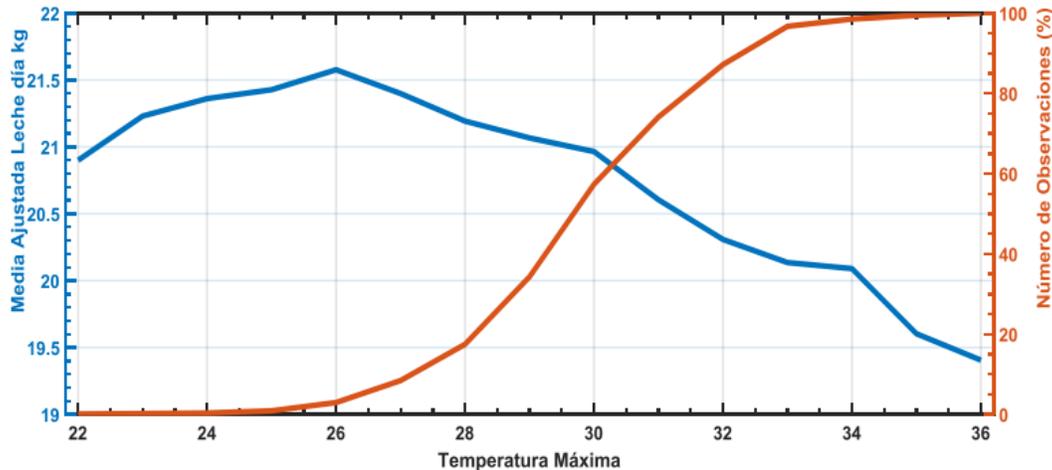


Figura 4. Comportamiento de la producción de leche a través de la escala de temperatura máxima.

El análisis de regresión realizado a todos los puntos representados y ponderado por el número de observaciones de cada nivel de TMAX, en la zona de tolerancia indicó un $\beta=0,205\pm0,017$ ($R^2=91,8\%$); mientras que en la etapa depresiva se obtuvo un $\beta=-0,268\pm0,022$, ($R^2=96,8\%$). La importancia de esta última ecuación de regresión resulta evidente si se considera que solo el 10 % de los registros de PDC se realizaron a $T \leq 26^\circ\text{C}$.

La disminución de la producción de leche en la fase de ST pudo deberse a adecuaciones fisiológicas que realiza el propio animal frente a situaciones de estrés, tal como indicó Araúz, (1992). Según Das *et al.*, (2016) éstas adecuaciones incluyen el aumento de la frecuencia respiratoria, la temperatura interna y la frecuencia cardíaca, que afectan directamente el consumo de alimento, por lo tanto, reduce la tasa de crecimiento, la producción de leche, el comportamiento reproductivo e incluso puede provocar la muerte en casos extremos.

Este proceso fisiológico está relacionado a la síntesis y secreción de la hormona liberadora de corticotropina (CRH) que actúa directamente sobre las estructuras nerviosas que controlan la ingestión de alimento, al ejercer un efecto inhibitorio de la misma (Matteri *et al.*, 2000). De acuerdo a West, (2003), esto resulta especialmente problemático en situaciones de ST, puesto que las necesidades de agua se ven aumentadas mientras que el consumo de materia seca y de la propia agua disminuyen y esto entra en conflicto con la producción de leche, la cual requiere la ingesta de grandes cantidades de agua.

Este tipo de respuesta coincidió con múltiples publicaciones (Ravagnolo y Misztal, 2000; Bohmanova *et al.*, 2007; Carabaño *et al.*, 2014;). De igual manera, la magnitud de pérdidas en producción de leche debidas a los efectos de TMAX estimadas en este estudio, estuvieron en

correspondencia con los resultados presentados por Santana *et al.* (2017) en animales Holstein en las condiciones de Brasil.

La importancia de este comportamiento toma una mayor importancia si se toma en cuenta un estudio publicado por la CEPAL (Mora *et al.*, 2010), el cual concluyó que la temperatura promedio en Panamá puede llegar a aumentar hasta dos grados en los próximos 15 años, lo cual tendrá efectos negativos en el sector agrícola y la ganadería lechera no está libre de ese riesgo. Este resultado debe ser objeto de futuras investigaciones, ya que en la muestra de datos analizados la mayor parte de los PDC se realizaron en la zona de ST, lo cual indica el negativo impacto que puede representar en el sector lácteo de la cuenca lechera de Chiriquí.

CONCLUSIONES

- Hay un marcado efecto ambiental en la producción de leche resaltando el efecto de la temperatura como uno de los mayores responsables en la disminución de la productividad de los animales Holstein estudiados.
- Es necesario realizar estudios incluyendo otros efectos medioambientales de interés en la producción de leche como el ITH, así como evaluando otras razas y cruzamientos utilizados para producción de leche y así caracterizar mejor el sector lechero de Panamá.
- Se debe evaluar la posible existencia de IGA en los sementales utilizados en Panamá con respecto a su país de origen, que permita reconsiderar la práctica generalizada de usar exclusivamente sementales Holstein seleccionados por producción láctea en las condiciones de países de clima templado y no aprovechar la adaptabilidad de los animales en las condiciones propias.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) en conjunto con el Instituto para la Formación y Aprovechamiento de los Recursos Humanos (IFARHU) de la República de Panamá y a la Universidad de Panamá – Facultad de Ciencias Agropecuarias por permitirme realizar los estudios doctorales que permitieron la realización de esta investigación mediante la beca **BIDP 2014-011** del programa EXCELENCIA PROFESIONAL – DOCTORADO EN AREAS ESPECIFICAS DEL CONOCIMIENTO. De igual manera mi sincero agradecimiento a los productores que facilitaron los datos de sus rebaños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abubakar, B., McDowell, R., & Van Vleck, L. (1986). Genetic evaluation of Holsteins in Colombia. *Journal of Dairy Science*, 69, 1081–1086.
- Araúz, E. E. (1992). Algunos índices fisiológicos y el estado general en lactación y crecimiento en ganado lechero cruzado. *Agronomía Mesoamericana*, 3, 34–39.
- Araúz, E., Fuentes, A., & Méndez, N. (2010). Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. *REDVET*, 11(11), 36. Retrieved from <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111110.html>
- Batista, J. (2011). Caracterización lactacional y reproductiva de las razas Holstein y Pardo Suizo en hatos lecheros grado A. Universidad de Panamá.
- Bohmanova, J., Misztal, I., & Cole, J. (2007). Temperature-Humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 1947–1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
- Brügemann, K., Gernand, E., Borstel, U., & König, S. (2011). Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity-dependent covariates. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 4129–4139. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4063>
- Butler, W. R. (1998). Review: Effect of Protein Nutrition on Ovarian and Uterine Physiology in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 81(9), 2533–2539. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(98\)70146-8](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(98)70146-8)
- Carabaño, M., Bachagha, K., Ramón, M., & Díaz, C. (2014). Modeling heat stress effect on Holstein cows under hot and dry conditions: Selection tools. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7889–7904. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-8023>
- Cerón-Muñoz, M., Tonhati, H., Costa, C., Rojas, D., & Echeverri, D. (2004). Factors that cause genotype by environment interaction and use of a multiple-trait herd-cluster model for milk yield of Holstein cattle from Brazil and Colombia. *Journal of Dairy Science*, 87(8), 2687–2692. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(04\)73395-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(04)73395-0)

- Cerón-Muñoz, M., Tonhati, H., Costa, C., Solarte, C., & Benavides, O. (2003). Factores de ajuste para producción de leche en bovinos Holstein colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 26–32. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/2950/295026121004.pdf>
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., & Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, 9(3), 260–268. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>
- Dematawewa, C., Pearson, R., & VanRaden, P. (2007). Modeling extended lactations of Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3924–3936. <https://doi.org/10.3168/JDS.2006-790>
- Ducrocq, V. (2017). Interbull: constructing international commensurability for dairy cattle selection. In *Interbull Meeting*. Ontario, Canadá.
- ETESA. (2019). Hidrometeorología de ETESA. Retrieved July 30, 2019, from <http://www.hidromet.com.pa/index.php>
- Freitas, A., Durães, M., Valente, J., Teixeira, N., Martinez, M., & Magalhães Jr., M. (2001). Parâmetros genéticos para produções de leite e gordura nas três primeiras lactações de vacas Holandesas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3), 709–713. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300015>
- Gonzáles, J. P., & WingChing-Jones, R. (2018). Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*, 10(2), 422–427. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2171>
- González-Recio, O., Alenda, R., Chang, Y. M., Weigel, K. A., & Gianola, D. (2006). Selection for female fertility using censored fertility traits and investigation of the relationship with milk production. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4438–4444. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72492-4](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72492-4)
- Guerra Montenegro, R. G., Hernández Rodríguez, A., & Menéndez Buxadera, A. (2018). Componentes de (co)varianza para producción de leche de vacas Holstein en Panamá mediante modelos de Repetibilidad y de Regresión Aleatoria. *Livestock Research for Rural Development*, 30(9), 18. Retrieved from <http://www.lrrd.org/lrrd30/9/rguer30164.html>

- Guerra, P., & Arosemena, M. (2002). Heredabilidad y repetibilidad de la producción de leche e intervalo entre partos de un hato Holstein, 2000. *Ciencia Agropecuaria*, (11), 87–105.
- Guevara, D. (2012). Desafíos para la consolidación de la cadena de leche. In *Cadena Agroalimentaria de la leche*. MIDA (p. 31). Panamá. Retrieved from <https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/leche2012.pdf>
- Hare, E., Norman, H., & Wright, J. (2006). Trends in calving ages and calving intervals for dairy cattle breeds in the United States. *Journal of Dairy Science*, 89, 365–370.
- Holstein Association USA. (2018). Holstein Breed. Retrieved August 13, 2018, from http://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html
- INEC. (2016). Estimación de la producción de leche de vaca en la República: años 1992-2012. Retrieved March 11, 2018, from <http://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P5341312-13.pdf>
- Kramer, C. (1956). Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12(3), 307. <https://doi.org/10.2307/3001469>
- Matteri, R., Carroll, J., & Dyer, C. (2000). Neuroendocrine responses to stress. In *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare* (p. p 43).
- Mcmanus, C., Teixeira, R., Dias, L., Louvandini, H., & Bianchini, E. (2008). Características productivas e reproductivas de vacas holandesas e mestiças Holandês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(5), 819–823.
- MIDA. (2013). Plan Estratégico para el Desarrollo del Sub sector Lechero 2007-2013. Panamá. Retrieved from <https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/plan-nacional-de-leche%5B1%5D.pdf>
- Mora, J., Ramírez, D., Ordaz, J. L., Acosta, A., & Serna, B. (2010). Panamá. Efectos del cambio climático sobre la agricultura. México D.F. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25926/1/lcmex1971.pdf>
- Noordhuizen, J., & Buurman, J. (1984). Veterinary Quarterly VAMPP: A Veterinary Automated Management and Production control Programme for dairy farms (The application of MUMPS for data processing). *Veterinary Quarterly*, 6(2), 66–72. <https://doi.org/10.1080/01652176.1984.9693914>

- Osorio, M., & Segura, J. (2005). Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México. *Técnica Pecuaria En México*, 43(1), 127–137.
- Ravagnolo, O., & Misztal, I. (2000). Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *Journal of Dairy Science*, 83(9), 2126–2130. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(00\)75095-8](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(00)75095-8)
- Ray, D., Halbach, T., & Armstrong, D. (1992). Season and lactation number effects on milk production and reproduction of dairy cattle in Arizona. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 2976–2983. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78061-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78061-8)
- Ribas, M., Gutiérrez, M., Évora, J., & García, R. (1999). Efectos ambientales y genéticos en la producción de leche de vacas mestizas Siboney de Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 33, 135.
- Ribas, M., & Pérez, B. (1995). Factores no genéticos que afectan los pesajes de leche y la producción acumulada en distintas lactancias. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 29, 277.
- Sahin, A., Ulutas, Z., Yilmaz, A., & Adkinson, R. (2012). Genetic and environmental parameters and trends for milk production of Holstein cattle in Turkey. *Italian Journal of Animal Science*, 11(44), 242–248. <https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e44>
- Salazar, M., Castillo, G., Murillo, J., Hueckmann, F., & Romero, J. J. (2013). Edad al primer parto en vacas Holstein de lechería especializada en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 233–243.
- Salazar, M., Castillo, G., Murillo, J., Hueckmann, F., & Romero, J. J. (2014). Effect of age at first calving on first lactation milk yield in Holstein cows from Costa Rican specialized dairy herds. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 4(9), 197–203. <https://doi.org/10.4236/ojvm.2014.49023>
- Santana, M., Bignardi, A., Pereira, R., Stefani, G., & El Faro, L. (2017). Genetics of heat tolerance for milk yield and quality in Holsteins. *Animal*, 11(1), 4–14. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001725>
- SAS. (2013). *SAS User's guide: Statistics*. Cary, N.C, USA: SAS Institute.

- Schaeffer, L. (2002). Dairy Cattle Test Day History: A Case Study. In M. Rothschild & S. Newman (Eds.), *Animal Breeding and Genetics* (pp. 233–246). Ontario, Canadá: CABI International. Retrieved from https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=l6x0d7D1tKAC&oi=fnd&pg=PA233&dq=lawrence+schaeffer+test+day&ots=qoXQxB-9pD&sig=PF9Nw_aXoIXRkkLRH3fmyLz2Zy4&redir_esc=y#v=onepage&q=lawrence+schaeffer+test+day&f=false
- SENAPAN. (2017). Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Panamá. Retrieved from <http://www.mides.gob.pa/wp-content/uploads/2017/03/Plan-SAN-Panamá-2017.pdf>
- Sierra, E., Cerón-Muñoz, M., & Ruíz, Z. (2017). Parámetros reproductivos y su relación con producción y calidad de leche en hatos del trópico alto. *Livestock Research for Rural Development*, 29(5). Retrieved from <http://www.lrrd.org/lrrd29/9/elsi29170.html>
- Silvia, W. (2003). Addressing the decline in reproductive performance of lactating dairy cows: a researcher's perspective. *Veterinary Sciences Tomorrow*, 3(1), 1--5. Retrieved from https://uknowledge.uky.edu/animalsci_facpubhttps://uknowledge.uky.edu/animalsci_facpub/3
- Tarazon-Herrera, M. A., Huber, J. T., Santos, J. E., & Nussio, L. G. (2000). Effects of bovine somatotropin on milk yield and composition in Holstein cows in advanced lactation fed low- or high-energy diets. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 430–434. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74899-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74899-5)
- Toledo, H., Ruiz, F., Vázquez, C., Berruecos, J., & Elzo, M. (2014). Tendencias genéticas y fenotípicas para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 443–457. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242014000400007&lng=es&nrm=iso
- Vargas-Leitón, B., Koops, W., Herrero, M., & Van Arendonk, J. (2000). Modeling Extended Lactations of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1371–1380. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030200750053>
- West, J. (2003). Effects of heat stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(03)73803-X)