

Artículo Original. Septiembre-Diciembre 2018; 8(3):51-67. Recibido: 28/02/2018 Aceptado: 25/06/2018.

<http://dx.doi.org/10.21929/abavet2018.83.3>

## Productividad de vacas lecheras Holstein sin sombra en dos épocas del año

Productivity of Holstein dairy cows without shade at two seasons of the year

Beauregard-García Jesús<sup>1</sup> [asesorvaquero@live.com](mailto:asesorvaquero@live.com) , Prado-Rebolledo Omar<sup>2</sup> [omarpr@ucol.mx](mailto:omarpr@ucol.mx) , García-Márquez Luis<sup>3</sup> [ljgm\\_cmv@hotmail.com](mailto:ljgm_cmv@hotmail.com) , García-Casillas Arturo<sup>4</sup> [cesargarciacasillas@hotmail.com](mailto:cesargarciacasillas@hotmail.com) , Macedo-Barragán Rafael<sup>5</sup> [macedo@ucol.mx](mailto:macedo@ucol.mx) , Hernández-Rivera Juan<sup>\*2</sup> [jhernandez2@ucol.mx](mailto:jhernandez2@ucol.mx)

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria. México. <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima. Colima, México. <sup>3</sup>Centro Universitario de Investigaciones de Desarrollo Agropecuario, Universidad de Colima. Colima, México. <sup>4</sup>Profesor del Posgrado Interinstitucional en Producción Pecuaria. México. <sup>5</sup>Coordinador del Posgrado Interinstitucional en Producción Pecuaria. México. \*Autor responsable y de correspondencia: Hernández Rivera Juan Augusto. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Colima; Kilometro 40 Carretera Colima-Manzanillo, S/N, Tecomán, Colima, México, CP 28100.

### RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de época sobre la productividad de vacas lecheras Holstein, 10 vacas fueron asignadas a uno de dos tratamientos, vacas en invierno (Inv) y vacas en verano (Ver). El estudio tuvo una duración de 70 días (d) divididos en dos periodos de cinco semanas, respectivamente. Los datos fueron colectados tres veces por semana. Los animales fueron alimentados bajo el mismo régimen alimenticio en ambas épocas, a partir de una ración integral a base de concentrado, heno de alfalfa y silo de maíz. El índice de temperatura-humedad máximo fue de 70 y 75 unidades durante el invierno y verano, respectivamente. Las vacas Inv tuvieron menor producción de leche ( $P<0.05$ ), tasa respiratoria y temperatura rectal que vacas Ver. Las temperaturas de costado derecho y nalga en vacas Inv fueron menores ( $P<0.05$ ), respecto a vacas Ver ( $P<0.05$ ). Las temperaturas de agua de bebida, piso y ambiental a través del bulbo negro fueron consistentemente menores ( $P<0.05$ ) durante la época de invierno con respecto al verano. Las vacas Ver presentaron estrés calórico ligero e incrementaron 24% más la producción de leche respecto a vacas Inv, pero no mejoraron la calidad en leche. El uso de sombras durante el verano, puede mejorar el estado fisiológico y calidad de la leche en vacas lecheras en lactación.

**Palabras clave:** Vacas lecheras, sin sombra, estrés calórico leve, productividad.

### ABSTRACT

In order to evaluate the effect of season on the productivity of Holstein dairy cows in a commercial herd, 10 cows were assigned to one of two treatments, cows in winter and cows in summer. The study lasted 70 days (d) divided into two periods of five weeks, respectively. The data were collected three times per week. The animals were under the same diet in both seasons, from an integral ration based on concentrate, alfalfa hay, and corn silo. The maximum temperature-humidity index was 70 and 75 units during the winter and summer, respectively. The cows in winter had lower ( $P<0.05$ ) milk production, respiratory rate and rectal temperature than summer cows. The temperatures on the right flank and buttock area in winter cows were lower ( $P<0.05$ ), with respect to summer cows. Drinking water, floor, and environment temperatures through the black bulb were consistently lower ( $P<0.05$ ) during the winter season with respect to summer. Summer cows showed mild heat stress and increased 24% plus milk yield than winter cows, but did not improve milk quality. The use of shades during the summer can improve the physiological status milk quality in lactating dairy cows.

**Keywords:** Dairy cows, without shade, season, mild heat stress, productivity.

## INTRODUCCIÓN

El incremento de la temperatura ambiental (TA) se ha intensificado principalmente en zonas desérticas y semidesérticas debido al calentamiento global, dando como resultado veranos más calurosos (Avenidaño *et al.*, 2012). Aunado a ello, existen condiciones como el estrés calórico (EC), que impactan la relación ganado-agricultura en cuatro aspectos importantes: 1) producción de grano para consumo del ganado, así como la disponibilidad y precio, 2) producción y calidad de las cosechas de pastura y forraje, 3) producción, reproducción, crecimiento y salud del ganado, y 4) distribución de enfermedades (Francis y Vavrus, 2012).

Durante el 2011, las altas temperaturas en Estados Unidos de América provocaron que los productores sufrieran pérdidas en la producción de leche, que excedió el billón de dólares (NOAA, 2012). El EC se describe como una interacción entre el incremento de la temperatura corporal y el calor interno, que es generado a partir del metabolismo de los nutrientes aunado a la ineficiencia que tienen los animales para perder calor corporal, en combinación con factores medioambientales, como: humedad relativa (HR), TA, velocidad del viento y radiación solar (McManus *et al.*, 2011). Este último es el principal factor que se encarga de que los animales ganen calor directa o indirectamente del medio ambiente (Krishnan *et al.*, 2017).

El índice de temperatura-humedad (ITH) sirve para cuantificar el grado de EC en los animales y este se inicia a partir de las 72 unidades (West, 2003). Por otra parte, desde el punto de vista fisiológico y con el fin de minimizar el coeficiente de calor, las vacas primero experimentan un incremento en la tasa de sudoración, debido a una redistribución de la sangre hacia la superficie de la piel (Hernández *et al.*, 2011; Habeeb *et al.*, 2018). Asimismo, estos mismos autores mencionan que de manera secundaria, órganos tal como la ubre y el útero, disminuyen su funcionalidad, alterando los niveles hormonales que tienen que ver con la producción y reproducción. De hecho, animales que han sido expuestos a condiciones de calor intenso, mostraron un incremento en la concentración de cortisol, la cual está directamente relacionada con el nivel de estrés; además presentaron una disminución de insulina, tiroxina, triyodotironina (T3) y aldosterona plasmática (Habeeb *et al.*, 2018).

Contrariamente se ha observado que animales bajo condiciones de EC, alojados en corrales con sombra, tienen cortisol y T3 plasmático en menor y mayor cantidad respectivamente (Kamal *et al.*, 2016b). Luego se incrementa el consumo de agua, temperatura rectal (TR), pulso, tasa respiratoria (Tres) y taquipnea; por último, disminuye el consumo de nutrientes y materia seca, proceso de rumia y tasa de pasaje de alimento (Kamal *et al.*, 2016b; Kamal *et al.*, 2016a). En consecuencia, cuando la TA

rebasa los 29 °C, la eficiencia productiva de vacas lecheras en lactación suele verse disminuida, principalmente en vacas que han sido expuestas a altas temperaturas por al menos de 67 días (Ammer *et al.*, 2018).

La ausencia de sombras y altas temperaturas ambientales son condiciones severas, que pueden provocar la muerte de vacas lecheras bajo EC (Rhoads *et al.*, 2013). Por lo tanto, el simple uso de las sombras en el corral, ayuda a disminuir el impacto que provoca el EC en los animales (Berman y Horovitz, 2012). De hecho, se ha demostrado que animales que han sido expuestos directamente a la radiación solar, pueden disminuir de 30 a 45 % la carga de calor bajo la sombra (Ulvshammar, 2014).

Finalmente, en hatos lecheros ubicados al norte de México, se han reportado casos de EC de moderado a severo con ITH de 84 unidades durante los meses de verano (Correa-Calderón *et al.*, 2014; Anzures-Olvera *et al.*, 2015). En ciertas regiones del centro de México, donde tradicionalmente no era necesario colocar sombras en los corrales, los productores han empezado a identificar altas temperaturas, sobre todo en la época de verano; sin embargo, esto no ha sido evaluado objetivamente, y es probable que exista un efecto negativo en la productividad del ganado lechero.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de época sobre la calidad y producción de leche, respuestas fisiológicas y climáticas en vacas lecheras Holstein en lactación, alojadas en corrales sin sombra durante el invierno y verano en un rancho comercial de El Marqués, Querétaro, México.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Ubicación.** El estudio se realizó en un hato comercial ubicado a 20° 44' 00" latitud Norte, y 100° 17' 39" longitud Oeste, en el municipio de El Marqués, Querétaro, México; con una altitud de 1945 msnm, temperatura media anual de 18°C y precipitación pluvial anual de 500 mm. El viento dominante es de Noreste a Suroeste. El clima es predominantemente semiseco-templado en un 87% del municipio, el resto es templado-subhúmedo y semifrío subhúmedo (INEGI, 2009).

**Animales y tratamientos.** El trabajo se llevó a cabo durante las épocas de invierno y verano, con una duración de 70 días divididos en dos periodos de cinco semanas, respectivamente. Las vacas contaron con un área total de 880 m<sup>2</sup> dentro del corral sin sombra, incluidos 24.5 m de comedero al frente. Tomando en cuenta, los días en leche (30 a 130 d), número de partos (2 a 5) y la producción de leche previamente al inicio del experimento y para dar normalidad estadística a los datos, fueron asignadas 10 vacas Holstein multíparas de manera aleatoria a uno de dos tratamientos, (Inv); ( $n = 5$ ): vacas en época de invierno; (Ver); ( $n = 5$ ): vacas en época de verano. Los datos fueron colectados tres veces por semana y el horario de ordeño se realizó a las 06:00 y 17:00 horas (h), con una duración de tres y dos horas, respectivamente; al terminar la ordeña,

el alimento ya estaba servido en el comedero al piso. En ambas épocas, se proporcionó una ración integral a base de concentrado (600 g/kg de consumo), heno de alfalfa (300 g/kg de consumo), silo de maíz (100 g/kg de consumo) y fue formulada según las recomendaciones del NRC (2001), conteniendo 958 g/kg de MS, 172 g/kg de PC, 40.8 g/kg de grasa y 41.7 g/kg de FDN. El acceso al agua fue *ad libitum*.

Todos los procedimientos realizados en los animales fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

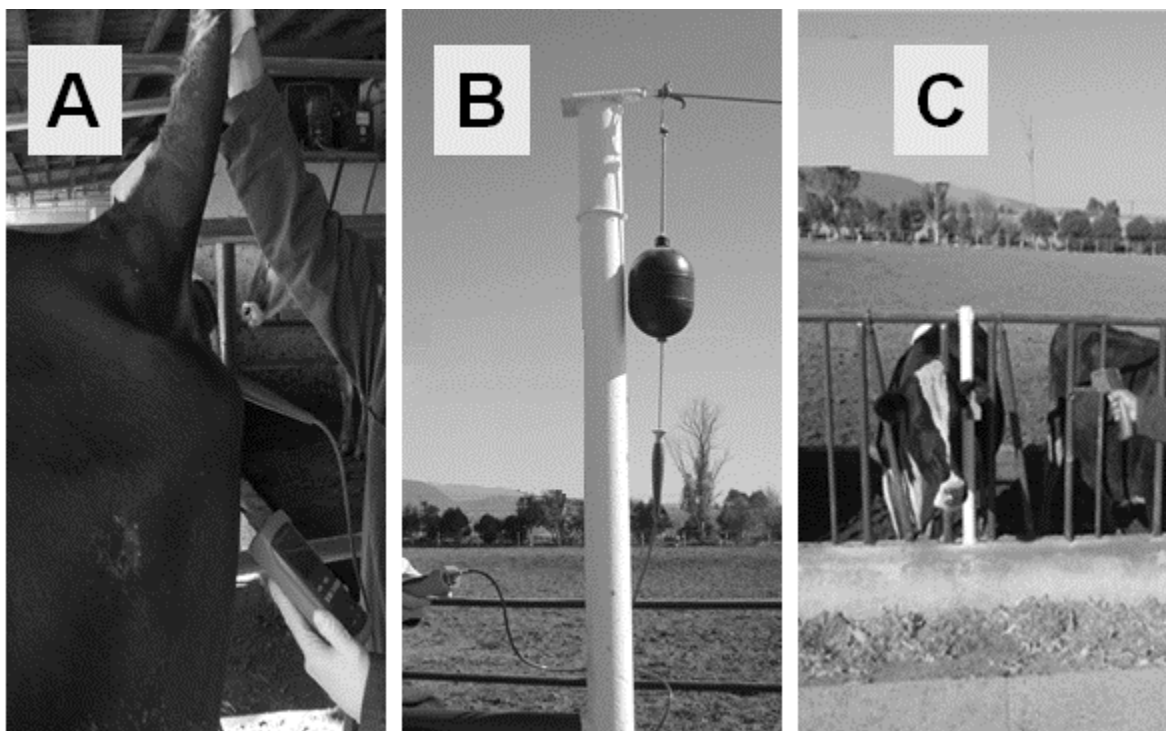
**Variables productivas.** La producción de leche se midió en kilogramos por vaca, durante el tiempo de ordeña; a través de los pesadores de la marca WAIKATO (inter Ag, Hamilton, New Zealand). Inmediatamente después del pesador, se tomó una muestra de leche en vasos de plástico (50 ml) con taparroscas; obteniendo antes de cerrar el vaso, la temperatura de la leche (°C), con la ayuda de un termómetro digital en forma de pistola y sistema infrarrojo integrado (Fluke® modelo 63). Finalmente, la leche fue almacenada en una hielera para su posterior análisis en el laboratorio de lácteos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Para determinar la calidad de la leche, los componentes (proteína, grasa, sólidos no grasos, lactosa y pH) fueron obtenidos con el aparato LACTOSCAN Milk Collecting Center (MCC; Bulgaria, 6000 Stara Zaragoza, 167, Tsar Simeon Veliki, A, 25).

A partir de la producción de leche total (PLT) y los porcentajes obtenidos a partir de grasa y proteína en leche, se obtuvo la variable de energía en leche (EL) mediante la siguiente fórmula,  $EL = \{[(40.72 \times \text{grasa, \%}) + (22.65 \times \text{proteína, \%}) + 102.77] \div 1000\} \times 2.204 \times PTL$  (Tyrrell y Reid, 1965). Además, con la información de PLT y porcentaje de grasa en leche se calculó la producción de leche corregida al 3.5% de grasa (Parekh, 1986), usando la fórmula:  $LCG = [((0.425 \times PTL) + (16425 \times ((\text{grasa, \%} \div 100) \times PTL)))]$ . Dónde: LCG = Leche corregida al 3.5% de grasa.

Para estimar la proyección a 305 días en leche (DEL) de los grupos de vacas Inv y Ver se usó la fórmula propuesta por Häubi Segura y Gutiérrez Lozano (2015),  $Proy305 = LecheDEL \div CoefDEL \times 100$ , donde: Proy305, es la estimación de la proyección de leche por vaca ajustada a 305 DEL; LecheDEL, es la producción de leche en un día específico de los DEL; dividido entre CoefDEL, que es el coeficiente correspondiente al mismo día específico de los DEL, multiplicado por 100. Dicho coeficiente se obtuvo a partir de la fórmula de Wood (1967)  $= a \times t^b \times \exp - c \times t$ , donde: t = días en leche (DEL); a = 0.434285; b = 0.318412; c = 0.142361 ( $R^2 = 0.995$ ). Una vez que se obtuvo la proyección ajustada a 305 DEL de los grupos de vacas Inv y Ver, se solicitó la producción media nacional (PMN) de leche del año 2017 a la Asociación Holstein de México A.C. (AHM, 2018) y a partir de esos tres datos, se modelaron las curvas de lactación Invierno, Verano y Testigo, este último creado como referente nacional de la raza Holstein.

Las curvas de lactación se modelaron despejando la fórmula Proy305, para obtener los kilos de leche correspondientes a los DEL de la curva  $kgDEL = (Proy305 \div 100) \times CoefDEL$ . Finalmente, se asignó 0.1 al primer DEL, para reflejar la producción de leche de las primeras horas después del parto, luego del segundo DEL en adelante, se continúa a partir del 1 hasta 305, correspondiente a los días de una lactancia completa.

**Variables fisiológicas.** La condición corporal (CC) fue evaluada una vez por semana sobre una escala de cinco puntos, donde “1” correspondía a una vaca demasiado flaca y “5” a una demasiado obesa (Wildman *et al.*, 1982). La temperatura de la capa de la piel (TP) y Tres se obtuvieron a las 1500 h dentro de los corrales. La TR se obtuvo durante la ordeña de la tarde, para ello se usó un aditamento en forma de varilla y se conectó a un termómetro digital (Fluke® modelos 80 PK-22 y 51-2, respectivamente; Figura 1-A).



**Figura 1.** Toma de lectura de temperatura rectal (A); toma de lectura de la temperatura ambiental a través del bulbo negro, el aditamento en forma de varilla y termómetro digital (B); toma de lectura de temperaturas de la capa de la piel a la distancia con el termómetro digital en forma de pistola y láser integrado (C).

La TA dentro del corral fue colectada mediante el uso del bulbo negro, tal como lo sugieren Veissier *et al.* (2018), antes de cada ordeña (Figura 1-B). Para ello, se usó el mismo aditamento y termómetro descritos en TR. Por otra parte, con el termómetro digital en forma de pistola y rayo láser integrado (Fluke® modelo 63), se obtuvieron los datos de TP en sus distintas regiones (Figura 1-C), como: cabeza, costado derecho,



nalga y ubre de todos los animales *in situ*, por lo tanto. Fue necesaria hacer la evaluación a una distancia aproximada de tres metros en relación a la vaca, para no espantarlas o causarles incomodidad; el rayo láser ayudó a indicar la región y a obtener lecturas precisas. Luego, para obtener mayor información acerca de las condiciones internas del corral, se obtuvieron las temperaturas del agua de bebida y del piso a base de tierra, con el mismo termómetro descrito en TP, durante la mañana y la tarde, antes de iniciar la ordeña. Finalmente, la Tres fue determinada a partir del número de respiraciones por minuto (resp/min), observando el movimiento del tórax de las vacas.

**Variables climáticas.** La información del estado meteorológico se obtuvo diariamente de la estación climatológica experimental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, localizada a 2 km del área de estudio. Las variables climáticas colectadas cada quince minutos fueron TA (°C) y HR (%). Luego se calculó el ITH con la siguiente fórmula propuesta por Hahn (1999):  $ITH = 0.81 TA + HR (TA - 14.4) + 46.4$ . Dónde: ITH = Índice de Temperatura-Humedad, TA = Temperatura ambiental y HR = Humedad. Posteriormente se obtuvieron promedios, máximos y mínimos de cada variable.

**Análisis estadístico.** Todas las variables se analizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x5, con el procedimiento Proc Mixed del SAS (2004). El modelo estadístico general usado para cada variable fue  $Y_{ijk} = \mu + E_i + S_j + (E_i \times S_j) + \mathcal{E}_{ijk}$  donde:  $Y_{ijk}$  es la variable dependiente,  $\mu$  es la media general,  $E_i$  es el efecto fijo de época,  $S_j$  es el efecto fijo de semana,  $(E_i \times S_j)$  es el efecto de interacción época por semana y  $\mathcal{E}_{ijk}$  es el error experimental. Las medias y errores estándar fueron registrados en cada variable. Para establecer las diferencias entre medias se usó una prueba de mínimos cuadrados y se declaró significancia estadística a una probabilidad del 5%, considerándose tendencia a una probabilidad del 10%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros de las variables climáticas durante el invierno y verano se muestran en la figura 2. Durante el invierno, el valor máximo de TA fue de 20°C y 95% la HR; mientras que el ITH fue de 70 unidades; los valores mínimos fueron 3°C, 7% y 33 unidades, respectivamente. En el verano los valores máximos de TA, HR e ITH fueron 30°C, 95% y 75 unidades, respectivamente; y los valores mínimos 12°C, 23% y 55 unidades, respectivamente.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Dalcin *et al.* (2016), donde obtuvieron un ITH máximo de 75 unidades durante la mañana en vacas lecheras Holstein. El ITH máximo alcanzado durante el verano se mantuvo por al menos 10 h cada día; esto quiere decir que los animales estuvieron sometidos a un EC ligero. El resto del día, el

ITH mínimo no alcanzó las 60 unidades, lo cual al no presentar ningún tipo de EC, los animales tuvieron la oportunidad de aliviar el calor obtenido durante las horas de sol (Silanikove y Koluman, 2015). En la figura 3 se muestra el efecto de interacción época\*semana ( $P<0.01$ ), respecto a los valores máximos y mínimos de ITH en el tiempo de estudio. Durante el verano, el ITH mínimo se mantuvo constante en alrededor de 58 unidades en las cinco semanas de estudio; mientras que en la segunda semana de invierno se registró el punto más bajo con 38 unidades. En el verano, el ITH máximo se mantuvo por arriba de las 72 unidades las primeras cuatro semanas de estudio, alcanzando las 75 unidades en la primera semana; sin embargo, durante la última semana se registraron menos de 72 unidades; por otra parte, en el invierno no se rebasaron las 70 unidades en ninguna de las semanas.

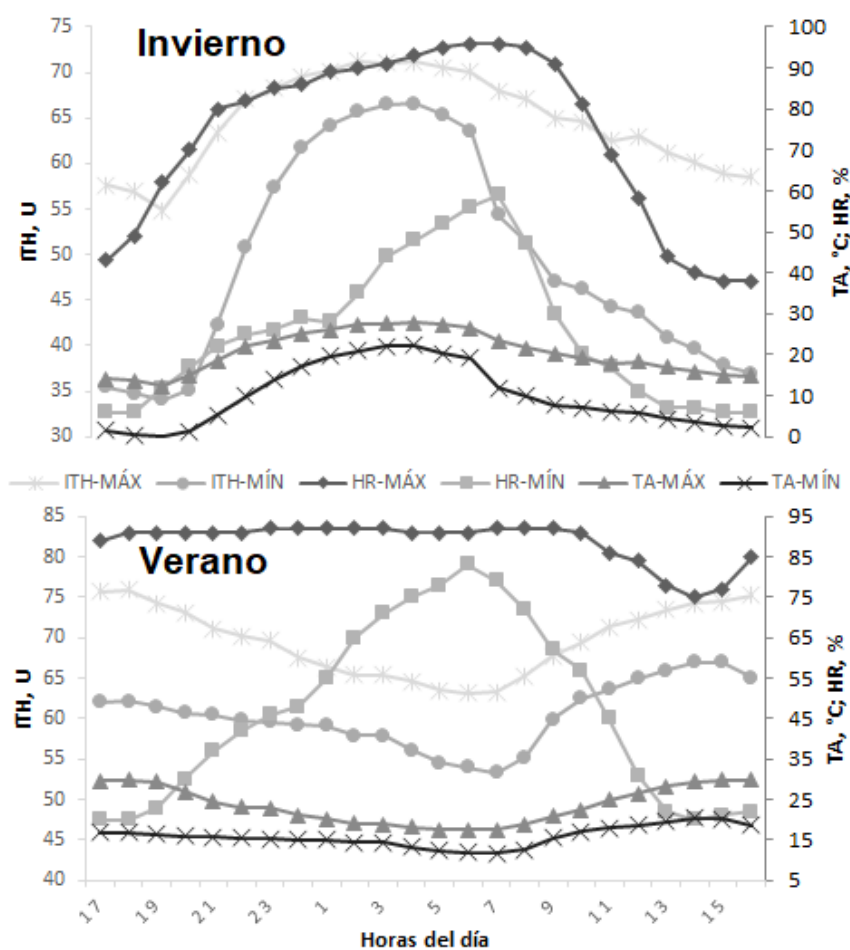
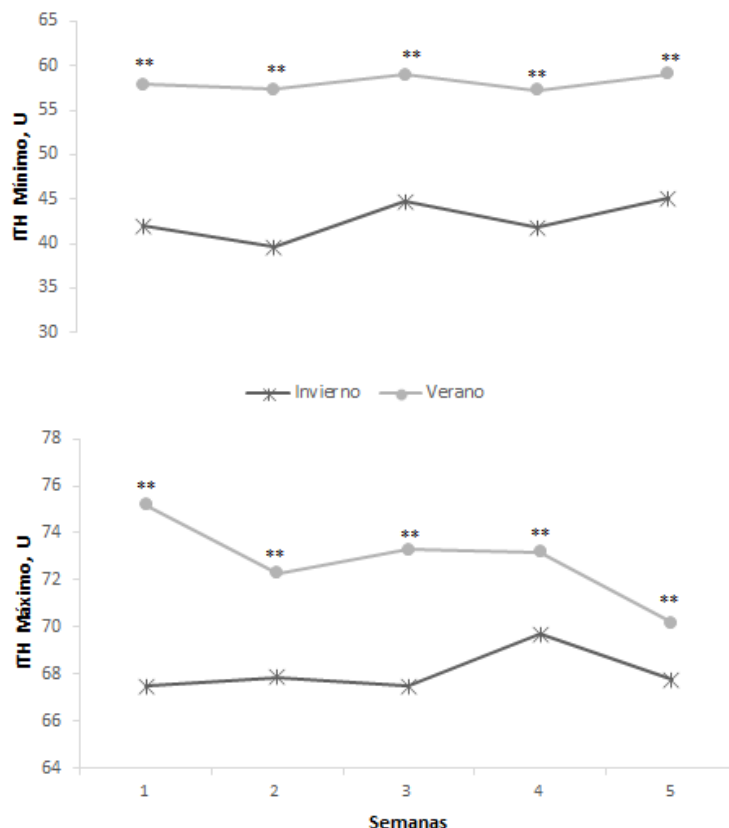


Figura 2. Registros por hora del índice de temperatura-humedad (ITH), temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) máximos y mínimos durante las épocas invierno y verano

Los valores de ITH menores a 72 unidades, indica que los animales se encuentran sin estrés, es decir confortables; de 72 a 78 unidades hay un estrés ligero; de 79-88 unidades es moderado, y mayor a 89 unidades se considera como un estrés severo, en

peligro de muerte (Akyuz *et al.*, 2010). Eigenberg *et al.* (2010) evaluaron el efecto de distintos tipos de sombras en vacas lecheras y descubrieron una menor carga de EC en ellas, cuando se compararon con animales alojados en corrales sin sombra, sobre todo durante las horas del día donde se registraron altas temperaturas. Veissier *et al.* (2018) por otro lado, estimaron el porcentaje de tiempo usado por las vacas bajo la sombra en el corral. Dichos autores reportaron que se incrementó exponencialmente ( $P < 0.01$ ) el uso de la sombra cuando se aumentó la carga de calor en los animales.



**Figura 3. Registro semanal del índice de temperatura-humedad (ITH) máximos y mínimos del grupo de vacas invierno y verano (diferencias entre cada punto se muestra con  $**P < 0.01$ ).**

El efecto de interacción época\*semanas no tuvo efecto ( $P > 0.05$ ) en las respuestas productivas, fisiológicas y temperaturas de agua de bebida, piso y bulbo negro. Los resultados de las variables fisiológicas se muestran en la tabla 1. La condición corporal de las vacas fue similar ( $P > 0.05$ ) en ambas épocas; esto indica que las condiciones de manejo nutricional fueron similares entre los animales Inv y Ver. Las vacas Inv tuvieron menor ( $P < 0.05$ ) Tres y TR (45 rpm y 38.3 °C, respectivamente) que vacas Ver (56 rpm y 38.6 °C, respectivamente).



De acuerdo a esto, resulta evidente que los animales Inv soportaron más las condiciones de EC, respecto a las vacas Ver. La Tres, de vacas Ver estuvo por arriba de lo reportado por Dalcin *et al.* (2016) en animales Holstein x Gir alojados sin sombra. Los autores señalan que esos animales fueron más tolerantes a EC, respecto a vacas Holstein del mismo estudio, las cuales presentaron 46 rpm más que las vacas del grupo Ver. La Tres normal en el ganado es de 20 rpm (Thomas y Pearson, 1986); es decir, que ambos grupos de vacas Inv y Ver incrementaron en 125 y 180 % más la Tres, respectivamente.

**Tabla 1. Efecto de la época invierno-verano sobre las respuestas fisiológicas en vacas Holstein.**

	Invierno	Verano	E.E. <sup>1</sup>	Valor-P
Condición corporal, 1-5 <sup>2</sup>	3	3	0.0273	0.7710
Tasa respiratoria <sup>3</sup>	45	56	1.6186	<0.0001
Temperatura rectal <sup>4</sup>	38.3	38.6	0.0434	<0.0001
<i>Temperaturas de la capa de la piel<sup>4</sup></i>				
Cabeza	34.8	35.6	0.8791	0.3517
Costado derecho	34.2	36.1	0.7119	0.0105
Nalga	33.4	36.3	0.6584	<0.0001
Ubre	34.6	34.6	0.4088	0.9912

<sup>1</sup>Error estándar; <sup>2</sup>unidades; <sup>3</sup>respiraciones por minuto; <sup>4</sup>grados Celsius.

Collier *et al.* (2017) mencionan que el incremento de la Tres y TR son signos importantes de EC en ganado lechero. Arias *et al.* (2018) señalan que cuando la TA rebasa los 27 °C, la Tres se incrementa por arriba de las 56 rpm. Esta situación fue similar para las vacas del grupo Ver, respecto a esas mismas variables. Fabris *et al.* (2017) reportaron que las vacas incrementan la Tres y TR a partir de las 77 unidades de ITH. Dicho incremento es en respuesta a que el hipotálamo detecta a través de termo receptores del sistema nervioso central y periférico condiciones de EC en los animales (Veissier *et al.*, 2018). Asimismo, Igono *et al.* (1992) indicaron que la TR promedio en vacas lecheras es de 38.5 °C, bajo condiciones normales. Tao y Dahl (2013) observaron una correlación positiva entre la TR registrada por la tarde y la producción de leche. Por otro parte, la TR se incrementó lo suficiente para detectar una diferencia (P<0.05) entre los animales del grupo Ver, con respecto a las vacas del grupo Inv. Esta situación fue parecida a lo reportado por Veissier *et al.* (2018), cuando observaron que la TR se incrementó al tiempo que aumentó el EC en animales sin sombra. Las TP tales como costado derecho y nalga de vacas Inv (34.2 y 33.4 °C, respectivamente), fueron menores (P<0.05) respecto a las vacas del grupo Ver (36.1 y 36.3 °C, respectivamente).

Recientemente un estudio mostró que animales bajo condiciones de EC pero enfriados en periodos cortos de tiempo, presentaron TP en pierna y hombro equivalentes a las reportadas en el grupo de vacas Inv (Tresoldi *et al.*, 2018). Por otro lado, en ese mismo

estudio, animales con sombra y sin enfriamiento fueron similares a lo reportado en vacas del grupo Ver. No se observaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre los grupos de vacas Inv y Ver, con respecto a la temperatura de la cabeza y ubre.

Los resultados de al menos dos TP registradas en este estudio, muestran un incremento consistentemente mayor en vacas Ver que en vacas Inv. Este incremento coincide con los resultados obtenidos en este estudio de Tres y TR, durante la misma época de verano. Además, a pesar que las vacas Ver presentaron EC ligero, los animales no comprometieron sus actividades de comer y beber dentro del corral, tal como sucedió en un estudio realizado por Hernández *et al.* (2011). También estos mismos autores reportaron que el incremento de las TP, está asociado a una mayor tasa de sudoración y pérdida de calor corporal; de hecho, en la necesidad de mantenerse frescos, los animales bajo condiciones de EC buscan lugares altos, de preferencia con sombra, viento o flujo de aire constante dentro del corral (Schütz *et al.*, 2014; Van Laer *et al.*, 2015; Kamal *et al.*, 2018).

En la tabla 2 se muestran los resultados de temperaturas del agua de bebida, piso y bulbo negro. Los promedios de temperaturas de agua de bebida, piso y bulbo negro fueron consistentemente mayores ( $P<0.05$ ) en el grupo de vacas Ver (24.8, 27 y 25.1 °C, respectivamente), que en el grupo de vacas Inv (18.8, 20.0 y 21.9 °C, respectivamente); sin embargo, la temperatura del bulbo negro durante la mañana no mostró diferencia ( $P>0.05$ ) en ambos grupos de animales.

Por otra parte, durante las tardes de verano las temperaturas de agua de bebida, piso y bulbo negro fueron considerablemente mayores ( $P<0.05$ ) que en las tardes de invierno; lo cual quiere decir que estas condiciones mejoraron el bienestar de las vacas del grupo Inv a pesar de la ausencia de sombras. Entonces, como el hato lechero no contaba con instalaciones que ayudaran a mitigar los efectos de la radiación solar durante las horas de la tarde, se propició un ambiente estresante que no beneficio de modo alguno al grupo de vacas Ver; de hecho, cuando la temperatura del aire es superior a la TP, el animal gana calor del medio que lo rodea, entrando en un estado de incomodidad (Avendaño-Reyes, 2012).

**Tabla 2. Temperaturas de agua de bebida, piso y bulbo negro en el corral de alojamiento durante la época invierno-verano.**

	Invierno	Verano	E.E. <sup>1</sup>	Valor-P
<i>Temperaturas<sup>2</sup></i>				
Agua bebida, AM <sup>3</sup>	15.0	23.0	0.4669	<0.0001
Agua bebida, PM <sup>4</sup>	22.6	26.8	0.3430	<0.0001
Promedio	18.8	24.8	0.2856	<0.0001
Piso, AM <sup>3</sup>	15.5	18.8	0.5905	<0.0001
Piso, PM <sup>4</sup>	24.5	35.2	1.5372	<0.0001
Promedio	20.0	27.0	0.8521	<0.0001
Bulbo negro, AM <sup>3</sup>	17.0	18.4	0.7578	0.0624

Bulbo negro, PM <sup>4</sup>	26.8	31.8	0.6112	<0.0001
Promedio	21.9	25.1	0.4634	<0.0001

<sup>1</sup>Error estándar; <sup>2</sup>Grados Celsius; <sup>3</sup>lectura matutina; <sup>4</sup>lectura vespertina.

Los resultados de las respuestas productivas se muestran en la tabla 3. La temperatura en leche durante la mañana fue menor ( $P<0.05$ ) en vacas Inv que en el grupo de vacas Ver, sin presentarse cambios ( $P>0.05$ ) entre el grupo de animales durante la tarde. Lo anterior, en acuerdo a los resultados obtenidos en las variables climáticas de este estudio.

La producción de leche, LCG y energía en leche fueron mayores ( $P<0.05$ ) en vacas Ver, con respecto a vacas Inv. La producción de leche fue mayor en poco más de 5.5 kg entre los dos grupos de animales; esto se debe a que las vacas Ver, al presentar un EC ligero, principalmente durante las horas del día con mayor intensidad de calor, tuvieron la necesidad de mitigar dicho estrés a través del incremento en el consumo de agua. Ammer *et al.* (2018) reportaron que vacas lecheras Holstein bajo condiciones de EC, aumentan el consumo de agua en alrededor de 1 L, por cada unidad de incremento de ITH.

**Tabla 3. Efecto de época sobre las respuestas productivas de vacas Holstein.**

	Invierno	Verano	E.E. <sup>1</sup>	Valor-P
Leche <sup>2</sup>	23.06	28.71	0.9053	<0.0001
LCG <sup>3</sup> al 3.5%	24.50	30.62	1.2609	<0.0001
Energía en leche <sup>4</sup>	16.22	20.14	0.7052	<0.0001
Temperatura leche <sup>5</sup> , promedio	31.41	32.50	0.2431	<0.0001
AM <sup>6</sup>	31.19	33.11	0.4320	<0.0001
PM <sup>7</sup>	31.64	31.95	0.2308	0.1840
Grasa <sup>8</sup> , promedio	3.71	3.72	0.09602	0.8734
AM <sup>6</sup>	3.20	2.89	0.09334	0.0014
PM <sup>7</sup>	4.20	4.56	0.1446	0.0127
Proteína <sup>8</sup> , promedio	2.85	2.79	0.02609	0.0429
AM <sup>6</sup>	2.78	2.80	0.02972	0.6567
PM <sup>7</sup>	2.91	2.75	0.04785	0.0015
Lactosa <sup>8</sup> , promedio	4.03	3.97	0.03564	0.0778
AM <sup>6</sup>	4.02	3.96	0.03520	0.0896
PM <sup>7</sup>	4.03	3.97	0.05665	0.3292
SNG <sup>9</sup> , promedio	7.65	7.43	0.06629	0.0011
AM <sup>6</sup>	7.72	7.46	0.1050	0.0141
PM <sup>7</sup>	7.58	7.37	0.07053	0.0028

<sup>1</sup>Error estándar; <sup>2</sup>kg/día; <sup>3</sup>leche corregida en grasa al 3.5%, kg; <sup>4</sup>MCal/d; <sup>5</sup>grados Celsius; <sup>6</sup>lectura matutina; <sup>7</sup>lectura vespertina; <sup>8</sup>porcentaje; <sup>9</sup>sólidos no grasos, porcentaje.

En el caso de las vacas Inv, al no presentar ningún tipo de estrés, no les fue necesario aumentar el consumo de agua; estas aseveraciones, aunque no fueron registradas se

basan en observaciones hechas durante el desarrollo del experimento. Por otro lado, Polsky y von Keyserlingk (2017) mencionan que vacas lecheras en casos de deshidratación por EC, incrementan su actividad, caminando hacia los comederos, bebederos y/o sala de ordeña; ya sea de forma individual o colectiva. Esos mismos autores reportan que las rutas de pérdidas de agua en el cuerpo son a través del sudor en la piel, evaporación por medio del jadeo, heces, orina y leche. Por lo tanto, un incremento en el consumo de agua en animales bajo EC, incrementa la cantidad de agua en leche para liberar calor corporal; pero no eleva la calidad de la misma a través de sus componentes. Los sólidos no grasos fueron consistentemente mayores ( $P < 0.05$ ) en vacas del grupo Inv, cuando fueron comparadas contra vacas Ver. De igual modo, el porcentaje de grasa durante la mañana fue mayor ( $P < 0.05$ ) en vacas Inv, respecto a vacas Ver; pero durante la tarde sucedió lo contrario, siendo mayor ( $P < 0.05$ ) en vacas Ver que en vacas Inv.

Se ha reportado que animales expuestos a la radiación directa del sol, cambian la composición de la grasa en leche, con una reducción concomitante en los niveles de ácidos grasos y un incremento en los ácidos grasos saturados (SEVI *et al.*, 2002). El porcentaje de lactosa durante la mañana y la tarde fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre los grupos de vacas Inv y Ver. El porcentaje de proteína durante la tarde fue mayor ( $P < 0.05$ ) en el grupo de vacas Inv en comparación con las vacas Ver. Durante la mañana el porcentaje de proteína fue similar ( $P > 0.05$ ) entre ambos grupos de vacas. Interesantemente el patrón del porcentaje de proteína en leche suele ser afectado por las altas temperaturas. Las células epiteliales de la glándula mamaria en condiciones de EC producen proteínas de choque de calor, las cuales reducen la síntesis de proteína en leche, causando de manera directa un efecto remanente en curvas de lactación; y de manera indirecta, causa otros efectos sobre la preñez y el estado metabólico de la vaca (Collier *et al.*, 2017).

La PMN de leche para vacas Holstein fue de  $9853 \pm 1708$  kg (AHM, 2018); la proyección a 305 DEL para vacas del grupo Inv y Ver fue de  $6037 \pm 1550$  y  $7690 \pm 881$  kg, respectivamente.

La figura 4 muestra las curvas de lactación a 305 DEL para el grupo de vacas Inv, Ver y Testigo. La modelación matemática de las curvas, indicaron que el grupo Testigo durante el pico de lactación, rebasó en 15 y 10 kg la producción de leche, respecto a vacas Inv y Ver, respectivamente. En acuerdo a lo reportado por Collier *et al.* (2017) dichas curvas mostraron una clara disminución respecto al grupo Testigo, ya que ambos grupos de vacas Inv y Ver, no lograron expresar desde el punto de vista genético o ambiental el potencial que mostró el grupo Testigo respecto a la PMN de leche.

Los componentes de calidad de leche en lo general, mostraron en la mayoría de los casos ser menores ( $P < 0.05$ ) en animales Ver respecto a animales Inv, lo cual quiere

decir que a pesar de ser mayor la cantidad de leche fluida, fue menor la cantidad de sus componentes, lo que refuerza el argumento de la presencia de agua en leche. Adicionalmente en algunos otros casos, por ejemplo, el porcentaje de grasa en leche mostraron similitudes ( $P>0.05$ ) entre los grupos de animales Inv y Ver; lo cual proporcionalmente hablando resulta ser mayor en el grupo de vacas Inv que vacas Ver. West (2003) reporta que las vacas en ausencia de sombras reducen el consumo de alimento y el flujo sanguíneo neto hacia el tracto digestivo, lo que resulta en un menor flujo de nutrientes hacia la glándula mamaria y una menor calidad de la leche.

### CONCLUSIONES

Los cambios ocurridos en las variables fisiológicas fueron más pronunciados en el grupo de vacas en verano, las cuales presentaron estrés calórico ligero. Durante el tiempo de estudio, las vacas del grupo en invierno no presentaron evidencia de algún tipo de estrés por calor. Por otro lado, aunque las vacas en verano produjeron 24% más leche que las vacas en invierno, no lograron mejorar el porcentaje de sólidos no grasos. Finalmente, el uso de sombras durante los meses de verano, puede mejorar el estado fisiológico y la calidad de la leche de vacas en lactación en El Marqués, Querétaro, México.

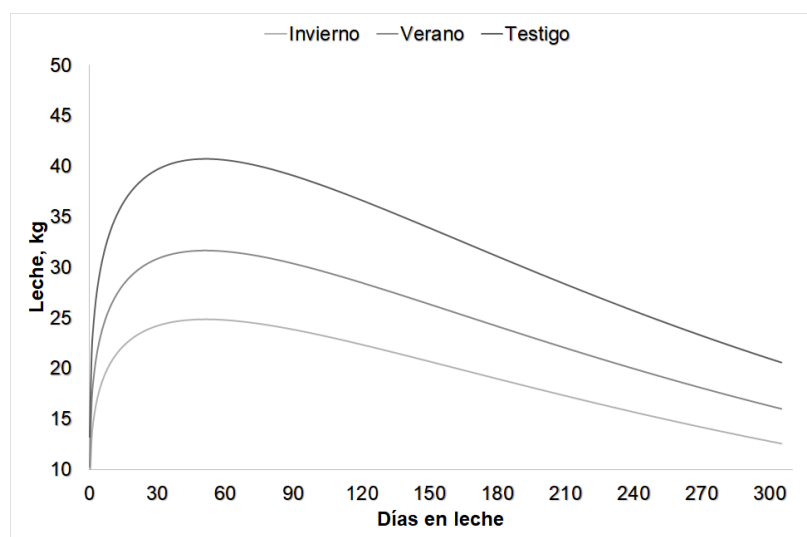


Figura 4. Curvas de producción y proyección a 305 días en leche del grupo de vacas Invierno, Verano y Testigo.

### LITERATURA CITADA

- AHM. 2018. Control de producción. AHM Asociación Holstein de México A.C. Disponible: [http://www.holstein.mx/srv\\_con.html](http://www.holstein.mx/srv_con.html).
- AKYUZ A, Boyaci S, Çayli A. 2010. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9:1824-1827. ISSN: 1680-5593. DOI: 10.3923/javaa.2010.1824.1827.

AMMER S, Lambertz C, Soosten D, Zimmer K, Meyer U, Dänicke S, Gauly M. 2018. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 102(1):103-113. ISSN: 0931-2439. DOI: [10.1111/jpn.12664](https://doi.org/10.1111/jpn.12664).

ANZURES-OLVERA F, Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela F, Correa-Calderón A, Díaz-Molina R, Hernández-Rivera J, Avendaño-Reyes L. 2015. Efecto de época del año (verano vs. invierno) en variables fisiológicas, producción de leche y capacidad antioxidante de vacas Holstein en una zona árida del noroeste de México. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 47:15-20. ISSN: 0301-732X. DOI: [10.4067/S0301-732X2015000100004](https://doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100004).

ARIAS RA, Herrera C, Larraín R, González F, Mader TL, Velásquez A. 2018. Physiological and behavioural response of two dairy cows genotypes during summertime in the central region of Chile. *Austral Journal Of Veterinary Sciences*. 50:9-14. ISSN: 0719-8132. DOI: [10.4067/S0719-81322018000100103](https://doi.org/10.4067/S0719-81322018000100103).

AVENDAÑO-REYES L. 2012. Heat stress management for milk production in arid zones. *Milk Production-An Up-to-Date Overview of Animal Nutrition, Management and Health*. DOI: [10.5772/51299](https://doi.org/10.5772/51299).

AVENDAÑO RL, Hernández RJA, Álvarez VFD, Macías CU, Díaz MR, Correa CA, Robinson PH, Fadel JG. 2012. Physiological and productive responses of multiparous lactating Holstein cows exposed to short-term cooling during severe summer conditions in an arid region of Mexico. *International Journal of Biometeorology*. 56(6):993-999. ISSN: 1432-1254. DOI: [10.1007/s00484-011-0510-x](https://doi.org/10.1007/s00484-011-0510-x).

BERMAN A, Horovitz T. 2012. Radiant heat loss, an unexploited path for heat stress reduction in shaded cattle. *Journal of Dairy Science*. 95(6):3021-3031. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.2011-4844](https://doi.org/10.3168/jds.2011-4844).

COLLIER RJ, Xiao Y, Bauman DE. 2017. Chapter 1 - Regulation of factors affecting milk yield. En: *Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease*. Academic Press. 3-17 p. ISBN: 978-0-12-809762-5.

CORREA-CALDERÓN A, Gómez-Álvarez C, Avendaño-Reyes L, Diaz-Molina R, Medina-Cervantes S, Rivera-Acuña F, Luna-Nevárez P, Macias-Cruz U. 2014. Efecto de la suplementación de progesterona y enfriamiento artificial post-inseminación sobre la eficiencia reproductiva de vaquillas Holstein durante el verano. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 46:189-196. ISSN: 0301-732X. DOI: [10.4067/S0301-732X2014000200004](https://doi.org/10.4067/S0301-732X2014000200004).

DALCIN VC, Fischer V, Daltro DdS, Alfonzo EPM, Stumpf MT, Kolling GJ, Silva MVGBd, McManus C. 2016. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 45:458-465. ISSN: 1516-3598. DOI: [10.1590/S1806-92902016000800006](https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000800006).



- EIGENBERG RA, Brown-Brandl TM, Nienaber JA. 2010. Shade material evaluation using a cattle response model and meteorological instrumentation. *International Journal of Biometeorology*. 54(6):601-607. ISSN: 0020-7128. DOI: [10.1007/s00484-010-0381-6](https://doi.org/10.1007/s00484-010-0381-6).
- FABRIS TF, Laporta J, Corra FN, Torres YM, Kirk DJ, McLean DJ, Chapman JD, Dahl GE. 2017. Effect of nutritional immunomodulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. *Journal of Dairy Science*. 100(8):6733-6742. ISSN: 1525-3198 (Electronic) 0022-0302 (Linking). DOI: [10.3168/jds.2016-12313](https://doi.org/10.3168/jds.2016-12313).
- FRANCIS JA, Vavrus SJ. 2012. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*. 39(6). ISSN: 1944-8007. DOI: [10.1029/2012GL051000](https://doi.org/10.1029/2012GL051000).
- HABEEB A, Gad A, EL-Tarabany A, Atta M. 2018. Negative effects of heat stress on growth and milk production of farm animals. *Journal of Animal Husbandry and Dairy Science*. 2(1):1-12. Disponible: <http://www.sryahwapublications.com/journal-of-animal-husbandry-and-dairy-science/pdf/v2-i1/1.pdf>
- HAHN GL. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77(suppl\_2):10-20. ISSN: 0021-8812. DOI: [10.2527/1997.77suppl\\_210x](https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x).
- HÄUBI SEGURA CU, Gutiérrez Lozano JL. 2015. Evaluación de unidades familiares de producción lechera en Aguascalientes: estrategias para incrementar su producción y rentabilidad. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 19(2):7-34. ISSN: 0188-7890. Disponible: <http://www.redalyc.org/html/837/83742619002/>.
- HERNÁNDEZ RJA, Álvarez VFD, Correa CA, Macías CU, Fadel JG, Robinson PH, Avendaño RL. 2011. Effect of short-term cooling on physiological and productive responses of primiparous Holstein cows exposed to elevated ambient temperatures. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*. 61(1):34-39. ISSN: 0906-4702. DOI: [10.1080/09064702.2011.558910](https://doi.org/10.1080/09064702.2011.558910).
- IGONO MO, Bjotvedt G, Sanford-Crane HT. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*. 36(2):77-87. ISSN: 1432-1254. DOI: [10.1007/bf01208917](https://doi.org/10.1007/bf01208917).
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Clave geoestadística 22011*. Formato electrónico. Disponible: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293116>.
- KAMAL R, Dutt T, Patel M, Dey A, Chandran PC, Bharti PK, Barari SK. 2016a. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. *Journal of Applied Animal Research*. 44(1):347-354. ISSN: 0971-2119. DOI: [10.1080/09712119.2015.1074076](https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1074076).
- KAMAL R, Dutt T, Patel B, Singh G, Chandran P, Dey A, Barari S. 2016b. Effect of shade materials on rectal temperature, respiration rate and body surface temperature of

crossbred calves during rainy season. *The Indian Journal of Animal Sciences*. 86(1). ISSN: 0367-8318.

KAMAL R, Dutt T, Patel M, Dey A, Bharti PK, Chandran PC. 2018. Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review. *Tropical Animal Health and Production*.1-6. ISSN: 0049-4747. DOI: [10.1007/s11250-018-1542-6](https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6).

KRISHNAN G, Bagath M, Pragna P, Vidya MK, Aleena J, Archana PR, Sejian V, Bhatta R. 2017. Mitigation of the heat stress impact in livestock reproduction. *Theriogenology*. DOI: [10.5772/intechopen.69091](https://doi.org/10.5772/intechopen.69091).

MCMANUS C, Castanheira M, Paiva SR, Louvandini H, Fioravanti MCS, Paludo GR, Bianchini E, Corrêa PS. 2011. Use of multivariate analyses for determining heat tolerance in Brazilian cattle. *Tropical Animal Health and Production*. 43(3):623-630. ISSN: 0049-4747. DOI: [10.1007/s11250-010-9742-8](https://doi.org/10.1007/s11250-010-9742-8).

NOAA. 2012. *Billion-dollar weather/climate disasters, distribution and change: 2000 to 2010, summary statistics*. NOAA's National Climatic Data Center. Disponible: <http://www.ncdc.noaa.gov/billions/summary-stats>.

NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. En. Washington, DC: The National Academies Press. ISBN: 978-0-309-06997-7.

PAREKH H. 1986. A new formula for FCM (3.5%) fat [Fat-corrected milk]. *Indian Journal of Animal Sciences (India)*. ISSN: 0367-8318.

POLSKY L, von Keyserlingk MAG. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 100(11):8645-8657. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.2017-12651](https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651).

RHOADS RP, Baumgard LH, Suagee JK, Sanders SR. 2013. Nutritional interventions to alleviate the negative consequences of heat stress. *Advances in Nutrition*. 4(3):267-276. ISSN: 2161-8313. DOI: [10.3945/an.112.003376](https://doi.org/10.3945/an.112.003376).

SAS. 2004. SAS/STAT User's guide software released. 9.12, v. SAS Institute Inc. Cary, NC.

SCHÜTZ KE, Cox NR, Tucker CB. 2014. A field study of the behavioral and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. *Journal of Dairy Science*. 97(6):3599-3605. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.2013-7649](https://doi.org/10.3168/jds.2013-7649).

SEVI A, Rotunno T, Di Caterina R, Muscio A. 2002. Fatty acid composition of ewe milk as affected by solar radiation and high ambient temperature. *Journal of dairy Research*. 69(2):181-194. ISSN: 1469-7629. DOI: [10.1017/S0022029902005447](https://doi.org/10.1017/S0022029902005447).

SILANIKOVE N, Koluman N. 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of

dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*. 123(1):27-34. ISSN: 0921-4488. DOI: [10.1016/j.smallrumres.2014.11.005](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.11.005).

TAO S, Dahl GE. 2013. Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*. 96(7):4079-4093. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.2012-6278](https://doi.org/10.3168/jds.2012-6278).

THOMAS CK, Pearson RA. 1986. Effects of ambient temperature and head cooling on energy expenditure, food intake and heat tolerance of Brahman and Brahman x Friesian cattle working on treadmills. *Animal Science*. 43(1):83-90. ISSN: 1357-7298. DOI: [10.1017/S0003356100018353](https://doi.org/10.1017/S0003356100018353).

TRESOLDI G, Schütz KE, Tucker CB. 2018. Cooling cows with sprinklers: Spray duration affects physiological responses to heat load. *Journal of Dairy Science*. 101(5):4412-4423. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.2017-13806](https://doi.org/10.3168/jds.2017-13806).

TYRRELL HF, Reid JT. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *Journal of Dairy Science*. 48(9):1215-1223. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88430-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88430-2).

ULVSHAMMAR K. 2014. *Effects of shade on milk production in Swedish dairy cows on pasture*. Disponible: [https://stud.epsilon.slu.se/6604/7/ulvshammar\\_k\\_140416.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/6604/7/ulvshammar_k_140416.pdf).

VAN LAER E, Tuytens FA, Ampe B, Sonck B, Moons CP, Vandaele L. 2015. Effect of summer conditions and shade on the production and metabolism of Holstein dairy cows on pasture in temperate climate. *Animal*. 9(9):1547-1558. ISSN: 1751-732X (Electronic) 1751-7311 (Linking). DOI: [10.1017/S1751731115000816](https://doi.org/10.1017/S1751731115000816).

VEISSIER I, Van laer E, Palme R, Moons CPH, Ampe B, Sonck B, Andanson S, Tuytens FAM. 2018. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. *International Journal of Biometeorology*. 62(4):585-595. ISSN: 1432-1254. DOI: [10.1007/s00484-017-1468-0](https://doi.org/10.1007/s00484-017-1468-0).

WEST JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 86(6):2131-2144. ISSN: 0022-0302 (Print) 0022-0302 (Linking). DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

WILDMAN EE, Jones GM, Wagner PE, Boman RL, Troutt HF Jr, Lesch TN. 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*. 65(3):495-501. ISSN: 0022-0302. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6).

WOOD PDP. 1967. Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature*. 216:164. ISSN: 1476-4687. DOI: [10.1038/216164a0](https://doi.org/10.1038/216164a0).

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad Autónoma de Querétaro por el uso del equipo e instalaciones para la realización de este estudio. Asimismo, agradecen sinceramente al IAZ. Eduardo García Frías por su excelente disponibilidad en el uso de las vacas en su hato lechero La Hacienda.