

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



**Caracterización de la Comarca Lagunera con base en el THI y riesgo de
estrés calórico para el ganado lechero: Datos de El Lucero, Dgo., 2016.**

POR

MAYTE LOZOYA GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DEL 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Caracterización de la Comarca Lagunera con base en el THI y riesgo de
estrés calórico para el ganado lechero: Datos de El Lucero, Dgo., 2016.

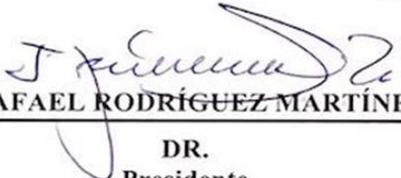
POR
MAYTE LOZOYA GARCÍA

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

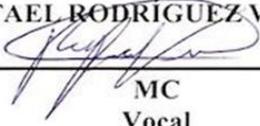
APROBADA POR:


RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

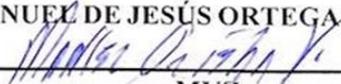
DR.
Presidente


PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

DR.
Vocal


RAFAEL RODRÍGUEZ VENEGAS

MC
Vocal


MANUEL DE JESÚS ORTEGA VARGAS

MVZ
Vocal suplente


MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DEL 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Caracterización de la Comarca Lagunera con base en el THI y riesgo de
estrés calórico para el ganado lechero: Datos de El Lucero, Dgo., 2016.

POR
MAYTE LOZOYA GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR EL COMITÉ DE ASESORÍA:


RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

DR.
Asesor principal


PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

DR.
Coasesor


RAFAEL RODRÍGUEZ VENEGAS


MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA
ANIMAL



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2022

AGRADECIMIENTO

A mis padres Rito Lozoya y Verónica García, por ser todo lo que me hace seguir mejorando en la vida, gracias por todo su apoyo y todo su amor que me hizo llegar hasta el final de este proyecto. A mis hermanos por acompañarme también en este camino.

A mi mejor amiga y compañera Aridaí por todo su apoyo incondicional.

A todos mis maestros por ser parte esencial de mi preparación durante mi estancia en la universidad, en especial al Dr. Rafael Rodríguez y al Dr. Pedro A. Robles Trillo quienes siempre me han brindado su apoyo en todo momento con sus enseñanzas y su ejemplo me inspiran a seguir preparándome día con día.

A mi Alma Mater.

A Dios por darme la fortaleza para seguir siempre de pie y concluir lo que un día con tanta emoción comencé.

DEDICATORIA

Con todo mi amor para mis padres y mis hermanos, gracias por todo el apoyo que me dan día a día durante toda mi vida, nunca voy a regresar todo lo bueno que me brindan, gracias por confiar en mí, esto es por y para ustedes.

A todas las personas que me apoyaron y creyeron en mi durante mi formación académica, amigos, familiares, maestros, gracias.

RESUMEN

La comarca lagunera, ubicada en los límites de los estados de Coahuila y Durango en la parte centro-norte de la república mexicana, se encuentra conformada por 16 municipios, de los cuales 11 pertenecen a Durango y 5 a Coahuila es conocida como una región agrícola y ganadera donde destaca la industria lechera y en ella se ubica el 19% del inventario nacional de ganado bovino lechero y se produce el 21% de la leche de bovino.

El ambiente climático de la comarca lagunera, zona árida del desierto chihuahuense, impone a la ganadería lechera condiciones de estrés calórico durante la mayor parte del año, limitando la expresión del potencial productivo del ganado, falla reproductiva, falta de bienestar, enfermedad y, en casos extremos, la muerte. Esta investigación tuvo como objetivo Identificar, con base en el THI, cuál es el riesgo de estrés calórico para el ganado lechero de la Comarca Lagunera, utilizando los datos climáticos obtenidos en el área del establo El Lucero, del municipio de Gómez Palacio, Dgo., para lo cual, se utilizó la aplicación DiGiTH™, (DiGiTH Technologies, México) con una frecuencia de obtención de datos de 10 min para cada uno de los días del año durante el año 2016 y se utilizó el programa Excel de Microsoft para construir los resultados correspondientes. Se cuantificaron 301 d de estrés calórico a cualquier nivel de $\text{THI} \geq 68$, así como que, en junio, julio y agosto, prácticamente todas las horas del día tienen niveles ≥ 68 , además de presentarse durante gran parte del día niveles de 77-79 y ≥ 80 THI, por otra parte, las horas que se acumulan al día durante los meses de junio y julio en la Comarca Lagunera sobrepasan las 10 h en el nivel de 72-76 (estrés moderado). Los meses más calurosos en nuestro estudio fueron septiembre, octubre y noviembre (otoño), ya que entre los tres promediaron 86.8 DEC, mientras que junio, julio y agosto (verano), promediaron 64.4 DEC. Estos resultados describen a la Comarca Lagunera como una región con altos niveles de EC y de duración prolongada a lo largo del día, representado no sólo un factor de disminución en la producción y reproducción del ganado lechero, sino un gran riesgo para su salud. Debido a lo anterior, se sugiere

utilizar con mayor énfasis los datos del THI para disminuir los efectos del EC en el ganado lechero y para desarrollar estrategias de mitigación del EC, además de resaltar la importancia de que las estrategias actuales se sigan puntualmente para hacer más eficiente el rendimiento, salud y bienestar de los bovinos productores de leche.

Palabras clave: Índice temperatura humedad (ITH), estrés, temperatura, indicadores de estrés calórico.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	VI
Introducción	1
Objetivos	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Revisión de literatura	3
La Comarca Lagunera, ubicación y características climáticas	3
La ganadería lechera en la Comarca Lagunera	3
El estrés calórico y la productividad en la ganadería lechera.	4
Los daños fisiológicos y productivos del estrés calórico.	5
Los indicadores del estrés calórico.	6
Materiales y métodos	10
Resultados y discusión	12
Referencias	19

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros:

<i>Cuadro 1. Inventario y porcentajes de ganado lechero a nivel nacional y de la Comarca Lagunera.....</i>	<i>4</i>
<i>Cuadro 2. Producción de leche de vaca (l anuales) y porcentajes de la Comarca Lagunera.</i>	<i>4</i>
<i>Cuadro 3. Datos de THI obtenidos para el establo El Lucero durante el año 2016.</i>	<i>11</i>
<i>Cuadro 4. Días con condiciones de estrés calórico (DEC) por presentar valores de THI ≥ 68, durante al menos una hora al día, en el establo El Lucero, del estado de Durango.....</i>	<i>12</i>

Figuras:

<i>Figura 1. Ubicación geográfica del establo El Lucero.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. Valores máximos de THI en Lucero 2016.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI causantes de estrés calórico (≥ 68) y por estación y horas de exposición.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 68-71 por estación y horas de exposición.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 72-76 por estación y horas de exposición.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 77-79 por estación y horas de exposición.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI ≥ 80 por estación y horas de exposición.</i>	<i>18</i>

Introducción

La Comarca Lagunera, ubicada en los límites de los estados de Coahuila y Durango, en la parte centro-norte de la República Mexicana, se encuentra conformada por 16 municipios, de los cuales 11 pertenecen a Durango y 5 a Coahuila: Torreón, San Pedro, Matamoros, Francisco I. Madero y Viesca, y es reconocida como una región agrícola y ganadera donde destaca la industria lechera. En la Comarca Lagunera se ubica el 19% del inventario nacional de ganado bovino lechero y se produce el 21% de la leche de bovino. El 51% de los bovinos y el 43% de la producción de leche de esta región corresponde a los municipios del estado de Durango.

El ambiente climático de la Comarca Lagunera, zona árida del desierto chihuahuense, impone a la ganadería lechera condiciones de estrés calórico durante la mayor parte el año, limitando la expresión del potencial productivo del ganado, falla reproductiva, falta de bienestar, enfermedad y, en casos extremos, la muerte. Para medir el efecto del ambiente sobre las condiciones ambientales que generan estrés calórico se han desarrollado diferentes indicadores, destacando entre ellos el THI, que integra a la temperatura y humedad relativa, considerándose que en el ganado lechero a partir de un THI de 68 se manifiesta el estrés calórico y, por ende, problemas productivos, reproductivos y de salud, y que a un THI de 80 se puede presentar la muerte del ganado.

A pesar de la importancia de la Comarca Lagunera como productora de leche y de sus condiciones ambientales de altas temperaturas y baja humedad, no existen datos específicos acerca de las áreas con mayor riesgo de estrés calórico, los períodos del año más críticos para la productividad y bienestar del ganado, ni si los días del año en que se presenta un THI de 68 se han incrementado durante los últimos años, tal y como se ha reportado en otras partes del mundo. Debido a lo anterior, se presenta este proyecto para resolver esas preguntas científicas y contribuir así al conocimiento científico y técnico de este problema.

Objetivos

Objetivo general

Identificar, con base en el THI, cuál es el riesgo de estrés calórico para el ganado lechero de la Comarca Lagunera, utilizando los datos climáticos obtenidos en el área del establo El Lucero, del municipio de Gómez Palacio, Dgo.

Objetivos específicos

Cuantificar los días en que los niveles de THI representan un riesgo de estrés calórico para el ganado lechero en el área del establo El Lucero.

Identificar los días de EC en relación a las horas de exposición del ganado lechero en el área del establo El Lucero.

Identificar cuáles son las estaciones que representan un mayor riesgo de estrés calórico para el área del establo El Lucero.

Revisión de literatura

La Comarca Lagunera, ubicación y características climáticas

La Comarca Lagunera ubicada en el Centro Norte de México (24° 01´ a 26° 48´ LN y 101° 52´ a 104° 40´ LO), se caracteriza por tener una precipitación pluvial de alrededor de 200 mm anuales concentrada en 30 días de los meses de junio a octubre, con 6 a 7 meses de sequía definida con precipitaciones pluviales menores a 7 mm al mes, y por temperaturas medias mensuales que fluctúan entre 12.7 °C en enero y 28.5 °C en junio, con extremas de -5 °C y 41.5 °C, además de registrar también, una alta radiación solar (Mazcorro, et al., 1991).

La Comarca Lagunera es reconocida como una región ganadera, especialmente en relación a la producción de leche de bovino, lo cual fue favorecido por diversas circunstancias políticas, geográficas y sociales que le permitieron, de acuerdo con Cerutti y Rivas-Sada (2008), incrementar notoriamente su producción, la que en 1948 rondaba los 33 mil l diarios, aumentando a 220 mil l en 1966 y a 700 mil l en 1973; Es decir, en términos anuales, la producción se incrementó de unos 12 millones de l en 1948 a 155 millones en 1967 y superaba los 360 millones en 1976, lo que significa incrementos por períodos de 25% del segundo respecto al primero, y de más del 33% del tercero respecto al segundo.

La ganadería lechera en la Comarca Lagunera

El inventario de ganado lechero nacional promedió 2,366,593 cabezas para el período 2006–2015, de las cuales, 443,331 corresponden a la Comarca Lagunera, lo que equivale a un 19.4% (Cuadro 1; SIAP, 2019). La proporción de bovinos lecheros de Durango y de Coahuila está prácticamente dividida por partes iguales en la región.

Cuadro 1. Inventario y porcentajes de ganado lechero a nivel nacional y de la Comarca Lagunera.

Año	Total nacional (TN)	Comarca Lagunera (CL)	Porcentaje CL/TN
2006	2,221,686	481,114	21.7
2007	2,304,605	487,838	21.2
2008	2,340,903	425,823	18.2
2009	2,344,475	404,895	17.3
2010	2,374,623	420,846	17.7
2011	2,382,443	427,874	18.0
2012	2,398,639	438,048	18.3
2013	2,410,289	439,260	18.2
2014	2,430,581	443,526	18.2
2015	2,457,683	464,086	18.9
2016	2,489,696	471,822	19.0
2017	2,506,130	469,159	18.7
2018	2,529,672	475,996	18.8
2019	2,563,822	483,397	18.9
Promedio	2,411,089	452,406	18.8

Fuente: Propia, elaborada a partir de datos del SIAP (2020)

Para el período 2009 – 2018, la producción anual de leche de vaca a nivel nacional promedió 71,180,274 l; de los cuales, 14,723,607 l (el 20.7%), corresponden a la producción de la Comarca Lagunera (Cuadro 2; SIAP, 2019).

Cuadro 2. Producción de leche de vaca (l anuales) y porcentajes de la Comarca Lagunera.

Año	Total nacional (TN)	Comarca Lagunera (CL)	Porcentaje CL/TN
2006	2,221,686	481,114	21.7
2007	2,304,605	487,838	21.2
2008	2,340,903	425,823	18.2
2009	2,344,475	404,895	17.3
2010	2,374,623	420,846	17.7
2011	2,382,443	427,874	18.0
2012	2,398,639	438,048	18.3
2013	2,410,289	439,260	18.2
2014	2,430,581	443,526	18.2
2015	2,457,683	464,086	18.9
2016	2,489,696	471,822	19.0
2017	2,506,130	469,159	18.7
2018	2,529,672	475,996	18.8
2019	2,563,822	483,397	18.9
Promedio	2,411,089	452,406	18.8

Fuente: Propia, elaborada a partir de datos del SIAP (2020)

El estrés calórico y la productividad en la ganadería lechera.

El clima de la Comarca Lagunera genera un ambiente adverso para la ganadería, ya que las temperaturas elevadas, los bajos porcentajes de humedad y los altos niveles de radiación representan un reto para la aclimatación del ganado, evitando la máxima expresión de su capacidad productiva.

Uno de los principales factores externos que afectan negativamente el rendimiento de las vacas lecheras es el ambiente térmico en el que viven (Nardone et al., 2010), especialmente en animales de alto rendimiento y de alto mérito genético, los cuales son muy sensibles al estrés calórico debido a su mayor actividad metabólica (Bernabucci et al., 2014), por lo que está aumentando la importancia del estrés calórico para la industria pecuaria (St-Pierre et al., 2003).

En numerosas áreas alrededor del mundo el estrés calórico representa una carga financiera significativa. En EUA se estimó esta carga entre 897 millones y 1,500 millones de dólares por año, considerándose que las pérdidas económicas se deben a que los animales son criados en lugares y temporadas donde las temperaturas se ubican fuera de la zona de confort termoneutral (St-Pierre et al., 2003).

Los daños fisiológicos y productivos del estrés calórico.

Los mecanismos involucrados en las respuestas para adaptarse a los cambios ambientales se dividen en respuestas fisiológicas, conductuales e inmunológicas. Estas respuestas varían según el tipo de desafío térmico. Los cambios adaptativos a corto plazo en las funciones fisiológicas, conductuales e inmunológicas (orientadas a la supervivencia), son las respuestas iniciales a los eventos agudos. Los desafíos a más largo plazo afectan las respuestas orientadas al rendimiento, p. ej., la alteración de la ingesta de alimentos y la pérdida de calor, que afectan el crecimiento, la reproducción y la eficiencia (Chen et al., 2018).

Existe una gran cantidad de artículos científicos que abordan el daño que el estrés calórico sobre la salud, el bienestar y la productividad del ganado lechero. St-Pierre et al., (2003) señalan como efectos del mismo, una reducción en el consumo de materia seca y en la fertilidad de hembras y machos, ya que reduce la expresión del comportamiento estral, altera el desarrollo folicular y el crecimiento y la función del folículo dominante, disminuye la competencia del ovocito e inhibe el desarrollo embrionario; También eleva la incidencia de infecciones de la ubre y la frecuencia de mastitis debido a que los mecanismos de defensa mamarios se tornan

deficientes y, finalmente, la mortalidad del ganado lechero se incrementa durante los períodos de estrés calórico.

El estrés calórico afecta la habilidad de los animales para termoregularse, por lo que el incremento en las temperaturas tiene implicaciones significativas y adversas para la productividad del ganado (DeShazer et al. 2009). Los estudios en el ganado han mostrado que las temperaturas elevadas provocan una disminución en el consumo de alimento, en la fertilidad y en la producción de leche (Armstrong 1994; Frank et al. 2001; Kadzere et al. 2002; Amundson et al. 2006; Ben Salem and Bouraoui 2009; Hernández et al. 2011; Gantner et al. 2012).

Se han descrito afectaciones sobre otros aspectos del bienestar, como lo es el tiempo de reposo, característica conductual, indicadora del estado fisiológico y de salud de las vacas (Tolkamp et al., 2010). Las vacas pasan de 8 a 16 h por día acostadas, por lo que la optimización sin perturbaciones, de este tiempo de reposo, es muy importante para su salud, ya que ayuda a evitar enfermedades de las pezuñas, cojeras, y a incrementar el consumo de alimento y la actividad ruminal (Herbut y Angrecka, 2018 a). En los establos lecheros, el tiempo de reposo puede usarse como una medida del bienestar de las vacas (Vasseur et al., 2012) ya que las altas temperaturas y la alta humedad relativa dificultan el proceso de reposo y aumentan la temperatura corporal de la vaca (Allen et al. 2015), lo que puede deteriorar la termorregulación y provocar el estrés calórico (Rhoads et al. 1992).

Otros efectos del estrés calórico se relacionan con la función digestiva, reportándose en vacas lecheras Holstein una asociación desfavorable entre el estrés calórico y la tasa de rumiación, disminuyendo la rumia cuando éste aumenta (Moretti et al., 2017). El estrés calórico también afecta a la microbiota intestinal normal, señalando Chen et al., (2018) que los microbios comensales pueden tener un rol importante en la patogénesis de la mastitis en vacas lecheras.

Los indicadores del estrés calórico.

Los índices utilizados para medir el estrés calórico incluyen al Índice de Globo-Negro Humedad, (Buffington et al. 1981), al Índice de Carga Calórica, al Predictor

de la Tasa Respiratoria (Silva et al. 2007) y al Índice de Temperatura Humedad (THI, por sus siglas en inglés). Este último es una herramienta útil para medir la respuesta productiva como una función del clima (Ravagnolo et al. 2000; Hahn et al. 2003; Silva et al. 2007; Dikmen and Hansen 2009).

El THI está basado en la temperatura del aire y la humedad relativa, sirviendo como una medida indicativa de la suma de las fuerzas externas sobre el animal que actúan para desplazar la temperatura corporal de su punto homeostático (Dikmen and Hansen 2009). Algunas variaciones en la formulación del THI incluyen un término para la velocidad del aire, para considerar el efecto de enfriamiento de los movimientos del aire (Tao y Xin 2003), o términos tanto de la velocidad del viento como de la radiación solar (Mader et al. 2006).

Para la ponderación del THI existen varias propuestas: La de Kibler (1964), que utiliza la ecuación $THI = 1.8 \times Ta - (1 - RH) \times (Ta - 14.3) + 32$, y otras señaladas por Kelly y Bond, (1971), con las ecuaciones $THI = 0.4 (DB + WB) + 15$; $THI = 0.55 dB + 0.2 DP + 17.5$; o $THI = dB - (0.55 - 0.55 RH) (dB - 58)$, donde dB = temperatura de bulbo seco del aire; WB = temperatura de bulbo húmedo del aire; DP = temperatura del punto de rocío del aire y; RH = humedad relativa del aire.

El umbral para el THI varía de acuerdo a la especie y a algunas características de su estado fisiológico, incluyendo su tasa metabólica y ha evolucionado con el tiempo y la revisión de sus efectos. En el caso del ganado lechero, las pérdidas en la producción están claramente relacionadas con los cambios en el THI. Las vacas muestran poca molestia en 70, pero el rendimiento de la leche y la ingesta de alimento se deprimen a 75. Los bovinos de todas las edades muestran grados de incomodidad con THI 78 o superior (Kelly y Bond, 1971).

Du Preez et al. (1990 a, b), determinaron que la producción de leche y el consumo de alimento se afectan por el estrés calórico si los valores de THI son mayores a 72. Bouraoui et al. (2002) colocaron el umbral en 69, mientras que Bernabucci et al. (2010) y Collier et al. (2012) sugieren que el umbral inicia a 68. Por otra parte, Vitali

et al. (2009) asumen que el riesgo de muerte para las vacas comienza a incrementarse cuando el THI alcanza los 80 puntos.

Gantner et al., (2017) reportan que los valores de umbral del THI para el ganado lechero en producción son altamente dependientes del número de partos (68, 69 y 72 para vacas con uno, dos y, tres o más partos). También señalan que el contenido diario de grasa y proteína muestra una disminución significativa debido a las condiciones de estrés calórico para todos los niveles de partos.

La región en la que se cría al ganado es también de gran importancia para su bienestar, confort y productividad, ya que las condiciones climáticas varían de zona a zona y presentan retos diferentes para el ganado. St-Pierre et al., (2003) señalan que en EUA existe un obvio incremento general en el THI de los estados del norte a los del sur, y que hay una gran variación en la magnitud y duración del estrés calórico en un día determinado, ejemplificando que en Florida, durante un día promedio de julio, una vaca lechera puede estar constantemente bajo condiciones de estrés calórico, mientras que en Arizona (el estado con la temperatura media máxima más alta en julio) pudiera estar expuesta a condiciones de THI sobre el umbral por aproximadamente 8 h/d.

Aunque era común ubicar el umbral del THI en 72 como el punto en que la síntesis de la leche comienza a disminuir, los datos recientes de la Universidad de Arizona indican que las vacas lecheras de alto rendimiento reducen su producción de leche en un THI de aproximadamente 68 (Zimbelman et al., 2009), ya que los bovinos se vuelven más sensibles al estrés calórico a medida que aumenta la producción de leche (Kadzere et al., 2002). De hecho, el aumento de la producción diaria de leche de 35 a 45 l/vaca por día se cree que aumenta la sensibilidad al estrés térmico y reduce la temperatura del umbral en 5 °C (Berman, 2005). Este aumento de la sensibilidad se explica presumiblemente por el calor extra asociado con la síntesis de leche adicional.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), en un futuro cercano, el ganado lechero estará expuesto a condiciones climáticas

desfavorables en regiones que ahora no se caracterizan por climas extremos. Reiczigel et al. (2009) determinaron en Hungría un incremento en el número de días de estrés calórico anual (THI > 68) de 5 a 17 durante los últimos 30 años, mientras que Gauly et al. (2013) encontraron que, considerando los escenarios de calentamiento global, el estrés calórico de las vacas lecheras altas productoras se convertirá en una preocupación creciente para los productores europeos. Finalmente, Dunn et al. (2014), concluyen que para el 2100, el número de días que exceden el umbral del THI en el sur del Reino Unido, puede aumentar de un promedio de 1-2 por año a más de 20 por año.

A pesar de la importancia del THI para identificar los períodos críticos para la salud, el bienestar y, por consecuencia, para la producción del ganado lechero, y considerando que las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera son propicias para causar estrés calórico, no se tienen identificadas en la región las zonas de mayor riesgo en términos de niveles de THI, ni los días o momentos de los mismos en los cuales es necesario tomar medidas que permitan paliar los efectos adversos del estrés calórico. Tampoco se conoce, si históricamente y a consecuencia del cambio climático, se han incrementado los días por año con condiciones de THI superiores al umbral establecido para el ganado lechero.

Debido a lo anterior, el objetivo general de este proyecto es identificar, con base en el THI, cuál es el riesgo de estrés calórico para el ganado lechero de la Comarca Lagunera, y los objetivos específicos: 1) Identificar cuáles regiones de la Comarca Lagunera tienen un mayor número de días con condiciones de estrés calórico, 2) Identificar cuáles son los días que representan un mayor riesgo de estrés calórico para cada una de las regiones, 3) Establecer en qué horas de los días de mayor riesgo de estrés calórico se producen con mayor frecuencia las condiciones de estrés calórico y 4) Determinar si existe un incremento histórico respecto al número de días con THI superiores a los del umbral para el ganado lechero.

Materiales y métodos

Establo seleccionado. Se seleccionó un establo de ganado lechero en explotación intensiva, El Lucero 25°90' LN, 103°39' LO (Figura 1).

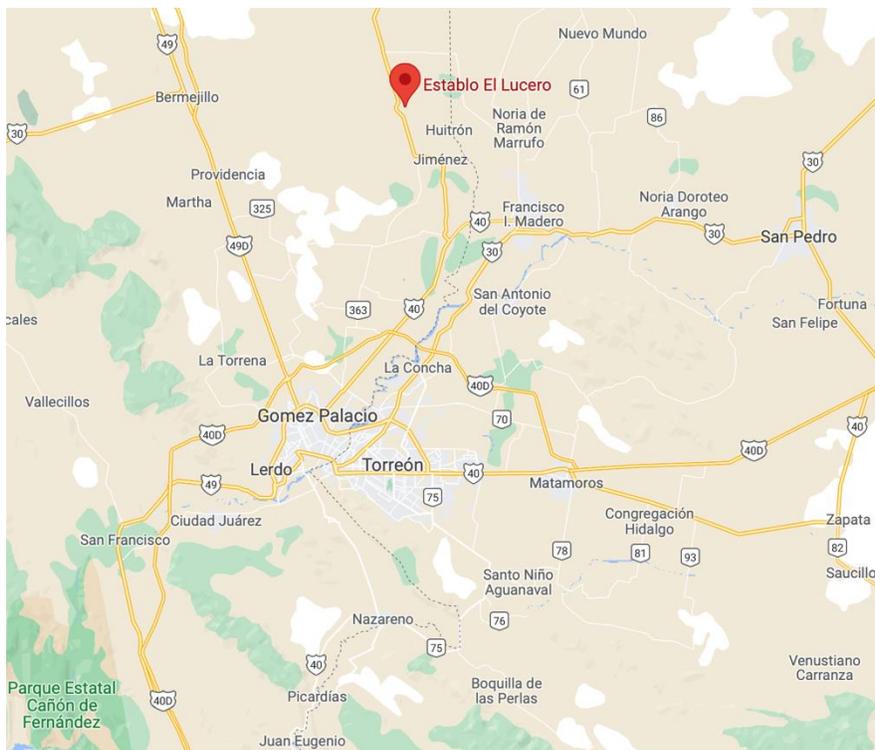


Figura 1. Ubicación geográfica del establo El Lucero.

Datos climáticos y THI. Se obtuvieron los datos climáticos de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%) para calcular mediante la aplicación DiGiTH™, (DiGiTH Technologies, México) el THI. Se obtuvieron los datos de temperatura ambiental (°C) y de humedad relativa y con ellos, se construyó el THI. los datos se obtuvieron con una frecuencia de 10 min para cada uno de los días del año durante el año 2016. Para la ponderación del THI utilizamos la ecuación de Kibler (1964): $THI = 1.8 \times Ta - (1 - RH) \times (Ta - 14.3) + 32$, donde Ta = temperatura ambiente y RH es humedad relativa.

En el Cuadro 1 se observan los datos obtenidos para el establo Lucero por cada mes, así como el porcentaje respecto a los datos potenciales de obtener.

Cuadro 3. Datos de THI obtenidos para el establo El Lucero durante el año 2016.

Mes	Datos a obtener	Datos obtenidos	Porcentaje
Enero	4464	3354	75.1
Febrero	4176	3474	83.2
Marzo	4464	4416	98.9
Abril	4320	4189	97.0
Mayo	4464	4265	95.5
Junio	4320	4320	100.0
Julio	4464	4428	99.2
Agosto	4464	4434	99.3
Septiembre	4320	4320	100.0
Octubre	4464	4464	100.0
Noviembre	4320	4320	100.0
Diciembre	4464	4411	98.8
Total	52704	50395	95.6

El total de datos mensuales fue de 4464 para los enero, marzo, mayo, julio, agosto, octubre y diciembre, 4320 para abril, junio, septiembre y noviembre y 4176 para febrero, resultado de multiplicar 6 observaciones por h (144) por 24 h del día y por los días de cada mes. El 2016 febrero tuvo 29 d.

Días con estrés calórico con base en el THI. Se identificaron los momentos del día en que se alcanzan niveles de THI ≥ 68 , considerados como aquellos en que el ganado lechero sufre estrés calórico. Complementariamente, los valores de THI ≥ 68 fueron divididos en 4 niveles de riesgo de estrés para el ganado lechero: 68-71 THI (estrés ligero); 72-76 THI (estrés moderado); 77-79 THI (estrés intenso) y; ≥ 80 THI (estrés extremo). Con base en lo anterior, se elaboró una imagen (THIgrama) de los niveles de THI, para cada momento de medición durante el año.

Días de estrés calórico (DEC) en relación a las horas de exposición. Se determinó el número de DEC que se alcanzaron por año y estación, los cuales fueron analizados en relación a las horas en que se alcanzó la exposición en cada uno de los niveles de THI señalados anteriormente. Para este fin, se clasificó el período de exposición de acuerdo al número de horas en que se alcanzaron los niveles de THI: 1, 6, 12, 18, y 24 h.

Diferencia en los niveles de THI ≥ 68 por efecto de la estación. Se determinó el efecto de la estación: primavera, verano, otoño e invierno, sobre la cantidad de días en que se alcanza niveles de THI causante de estrés calórico (≥ 68), y en cada uno

de los rangos en que se dividió a éste: 68-71 THI (estrés ligero); 72-76 THI (estrés moderado); 77-79 THI (estrés intenso) y; ≥ 80 THI (estrés extremo). El número de días para cada nivel descrito se subdividió con base en el número de horas en las que se alcanzó el nivel de THI al día: 1, 6, 12, 18, y 24 h.

Análisis estadístico: Para la elaboración del THIgrama, para la estimación del número de DEC con base en el THI y para obtener el número de días alcanzados por hora de estudio con valores de THI ≥ 68 y de cada uno de los rangos en que se subdividió éste, se utilizó se utilizó el *software* Excel (Microsoft 2021, USA).

Resultados y discusión

Días con estrés calórico con base en el THI. Los días en que se alcanzaron valores de THI ≥ 68 por estación del año se observan en el Cuadro 2, en el que se puede apreciar que para el caso de cualquier valor de THI ≥ 68 , se registraron 301 DEC para el año. Así mismo, se observa que la estación con el menor número de DEC es el invierno, con 48 d, que representa un 52.7% de los días de la estación, mientras que la estación en que se registró el mayor número de días fue el verano, con 89 d, los que a su vez representan el 97.8% del total de días de la estación. Para este caso, se consideraron 366 días totales (año bisiesto), de los cuales 91 días corresponden al invierno y el otoño y 92 a la primavera y el verano.

Cuadro 4. Días con condiciones de estrés calórico (DEC) por presentar valores de THI ≥ 68 , durante al menos una hora al día, en el establo El Lucero, del estado de Durango.

Estación	Días totales de la estación	DEC	Porcentaje
Invierno	91	48	52.7
Primavera	92	87	94.6
Verano	92	89	97.8
Otoño	91	77	83.7
Total/Promedio	366*	301	82.2

*366 días por ser año bisiesto.

THIgrama.

En la Figura 2 se observa el THIgrama obtenido para El Lucero, Durango. Los niveles de THI se identifican con un código de colores: blanco = sin datos; azul =

THI <68, amarillo = THI 68–71, marrón = THI 72–76, rojo = THI 77-79 y negro = THI \geq 80, correspondiendo los cuatro últimos, a los niveles en los que el ganado puede sufrir estrés calórico, mismos que aumentan el riesgo a medida que el THI se eleva.

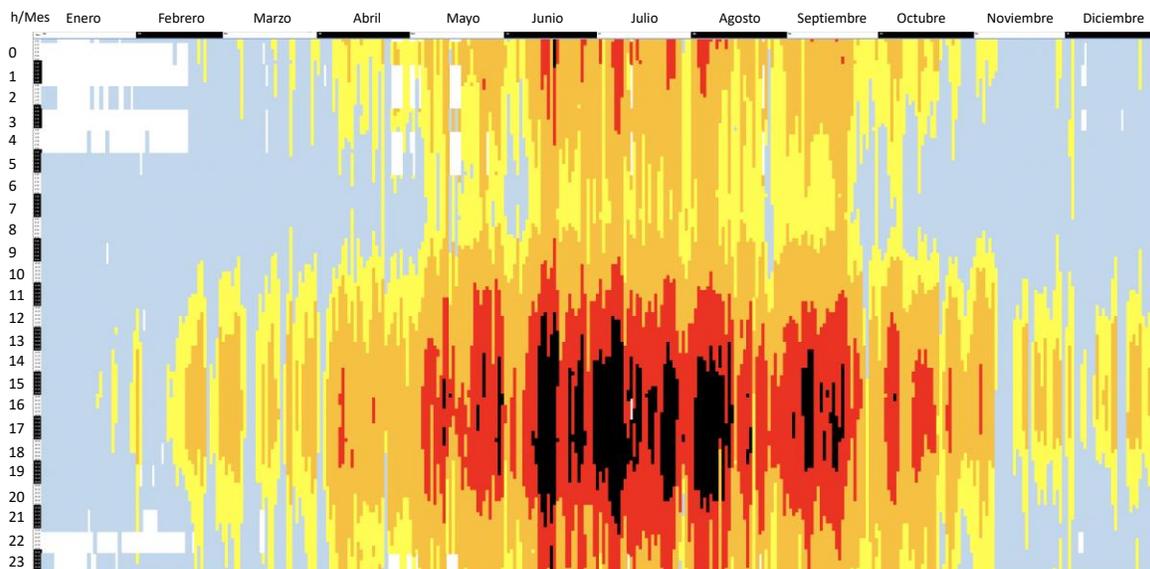


Figura 2. Valores máximos de THI en Lucero 2016.

Código de colores: blanco = sin datos; azul = THI <68, amarillo = THI 68 – 71, marrón = THI 72 a 76, rojo = THI 77 a 79 y negro = THI \geq 80.

En el margen superior de la imagen las líneas blancas y negras representa cada una un mes, iniciando con enero.

En el margen izquierdo de la imagen las líneas blancas y negras representan cada una hora, iniciando con 0.00.

Aún en invierno (diciembre, enero y febrero) se presentaron valores de THI \geq 68, aunque en enero estos son escasos y únicamente en los niveles 68–71 THI, sin embargo, en noviembre y en diciembre además de este nivel, también se registró el nivel 72–76, siendo más frecuente su registro, y el tercer día de noviembre se registraron 3 h de nivel 77-79. Por otra parte, en junio, julio y agosto, prácticamente todas las horas del día tienen niveles \geq 68, además de presentarse durante gran parte del día niveles de 77-79 y \geq 80, mismos que representan, especialmente este último, no sólo un factor de disminución en la producción y reproducción del ganado lechero, sino un gran riesgo para su salud.

En el THIgrama en relación a las horas del día en que se presenta EC, se observa que de junio a septiembre existen DEC a nivel \geq 80 THI, especialmente de las 12 a

las 20 h del día, también se observa que a nivel de 77-79 THI, se concentran los DEC de mayo a octubre, desde las 11 h hasta las 21 h, aunque algunos días suelen prolongarse hasta después de las 24 h. Por otra parte, al nivel 72-76 THI, prácticamente todo el año se presentan DEC, excepto en enero, observándose desde mayo a septiembre que los DEC a cualquier hora son comunes. Estos resultados coinciden con los encontrados por Theusme et al (2021), quienes reportan que, en el estado de Baja California, en la zona de la costa, el umbral de THI alcanzó 8 h/d solo en dos meses, mientras que en la zona del valle el EC excedió 10 h/d, considerando que para la zona de la costa se considera como causante de estrés calórico medio, mientras que en el valle es considerado como severo. Al respecto, de acuerdo al THIgrama de la Figura 2, las horas que se acumulan al día durante los meses de junio y julio en la Comarca Lagunera sobrepasan las 10 h en el nivel de 72-76 (estrés moderado), mientras que a nivel de 68 – 71 (estrés ligero), se observan prácticamente las 24 h del día desde mayo a septiembre, Lo que representa un gran riesgo de EC debido a que, como plantean en las zonas de clima subtropical, se produce poco o ningún alivio del calor durante la noche (Becker y Stone. 2020).

En la figura 3, se observan los DEC a cualquier nivel de THI (≥ 68), para cada estación del año, y para 1, 6, 12, 18, y 24 h de exposición.

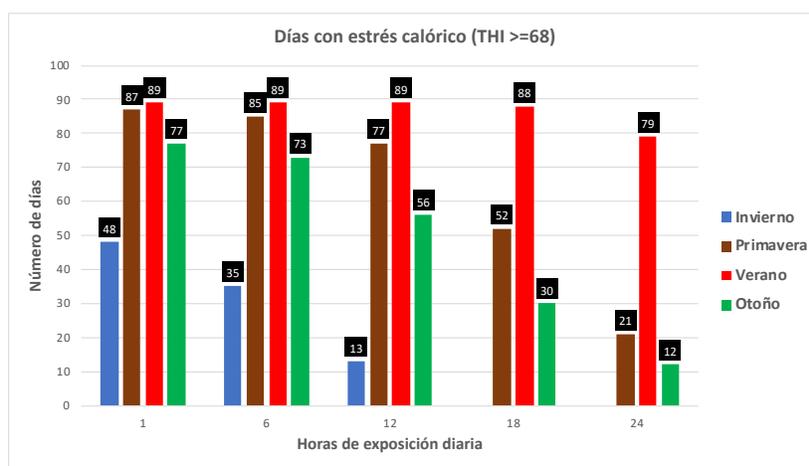


Figura 3. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI causantes de estrés calórico (≥ 68) y por estación y horas de exposición.

A nivel de $\text{THI} \geq 68$ en la primavera, verano y otoño hubo DEC a todas las horas de exposición, mientras que en el invierno no se registraron DEC a las 18 y 24 h de exposición. Las estaciones con un mayor número de DEC fueron primavera y verano, en las que se registraron valores de $\text{THI} \geq 68$ en cualquiera de los niveles de la escala de horas de exposición, especialmente en el verano, donde este valor de THI se prolongó hasta las 12 h en todos los días de la estación, para declinar levemente hasta un poco más de 70 d de la estación con ese THI durante las 24 h del día. Durante la primavera, el total de DEC a este nivel sólo se alcanzó hasta 1 h de registro y a partir de ahí, se observó una declinación continua hasta alcanzar sólo 21 días con 24 h a ese nivel de THI .

Estos resultados difieren en parte con los obtenidos por Theusme et al (2021), quienes encontraron que en el valle de Baja California, el ganado lechero está muy vulnerable al estrés calórico, especialmente durante julio y agosto (verano), cuando la temperatura ambiental extrema compromete el rendimiento del ganado lechero, que aunque coinciden, ya que los meses más calurosos en nuestro estudio fueron septiembre, octubre y noviembre (otoño), ya que entre los tres meses promediaron 86.8 DEC, mientras que junio, julio y agosto (verano), promediaron 64.4 DEC. Esto parece indicar una diferencia regional con el Valle de California, la cual puede asociarse a la ubicación más cercana a la costa en este sitio, en relación a la Comarca Lagunera que se encuentra en el Centro-Norte del país.

En la Figura 4 se observan los DEC a nivel de THI 68-71 (estrés ligero) para cada estación del año, y para 1, 6, 12, 18, y 24 h de exposición.

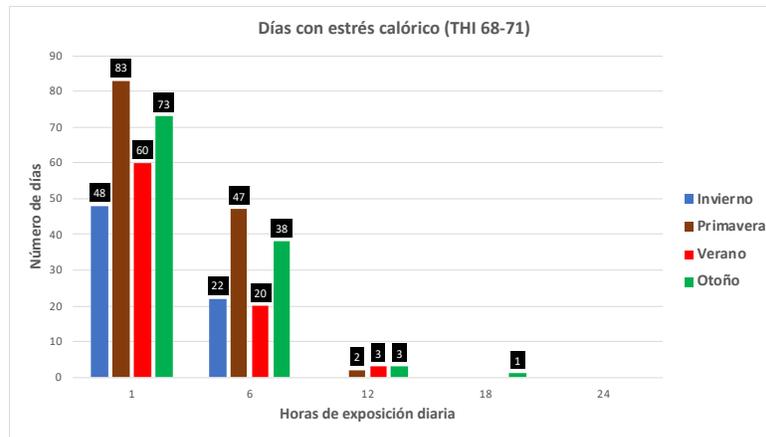


Figura 4. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 68-71 por estación y horas de exposición.

En el nivel de THI 68-71 los valores oscilan de 48 días en el invierno a 83 en primavera a 1h de exposición, mismos que van descendiendo conforme se incrementa el periodo de exposición, resaltando que a 1 h y a 6 h aún son más de la mitad de los días en cualquier estación y en promedio una tercera parte de ellos a 6 h de exposición, siendo la primavera la estación con más días (83 y 47 días a 1h y 6 h de exposición).

En la figura 5 se observan los DEC a nivel de THI 72-76 (estrés moderado) para cada estación del año, y para 1, 6, 12, 18, y 24 h de exposición.

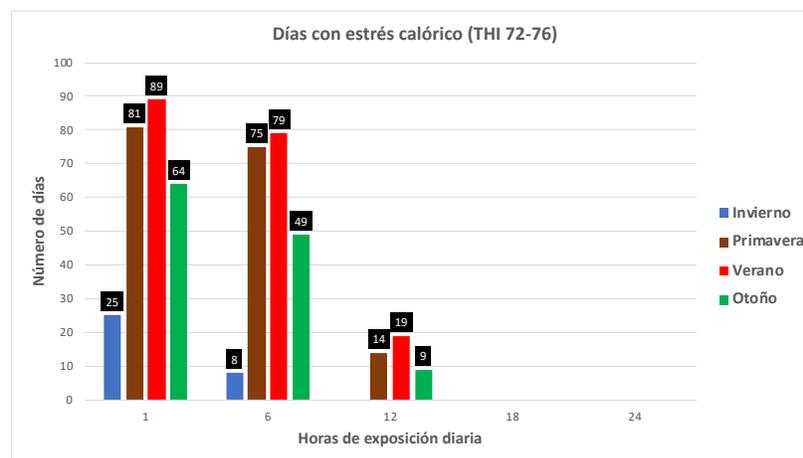


Figura 5. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 72-76 por estación y horas de exposición.

Los días con valores de THI por estación, causantes de estrés calórico a este nivel (estrés moderado) a 1 h de exposición presentan un comportamiento muy parecido

al del nivel 68-71 pero aumentan los DEC para 6 h y 12 h de exposición respecto al nivel 68-71.

En la figura 6 se observan los DEC a nivel de THI 77-79 (estrés intenso) para cada estación del año, y para 1, 6, 12, 18, y 24 h de exposición.

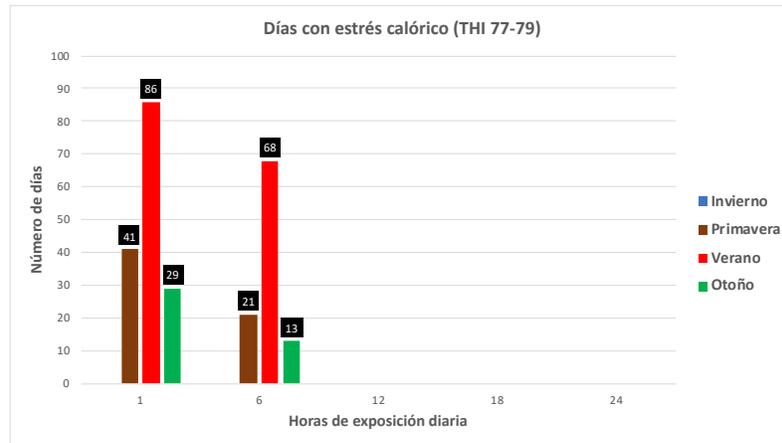


Figura 6. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI 77-79 por estación y horas de exposición.

Al nivel de THI 77-79 (estrés intenso) el verano todavía registra 86 y 68 DEC a 1 h y a 6 h de exposición, observándose DEC también en la primavera y en el otoño.

En la figura 7 se observan los DEC a nivel de THI ≥ 80 (estrés extremo). para cada estación del año, y para 1, 6, 12, 18, y 24 h de exposición.

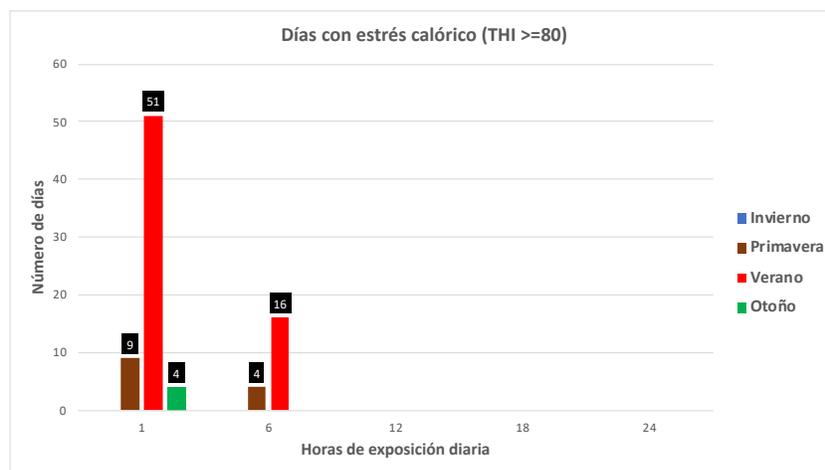


Figura 7. Establo Lucero, año 2016. Días con valores de THI ≥ 80 por estación y horas de exposición.

En relación a los días con nivel de THI ≥ 80 (estrés extremo) se observaron DEC a 1h y 6h de exposición, resaltando que en el verano se presentan 51 días a 1 h de exposición y 16 días a 6 h de exposición.

De acuerdo con West (2003) y Spiers et al. (2004), la producción de leche comienza a declinar 3 días después del estrés calórico, y las vacas necesitan de 3 a 4 días para recuperar su nivel de producción de leche nuevamente. Además, Becker et al., (2020), señalan que cuando el ganado lechero experimenta breves episodios de estrés calórico la producción se ve afectada negativamente durante un período de recuperación de aproximadamente 5 días después de las condiciones de estrés calórico. Por lo tanto, dadas las horas de EC en la Comarca Lagunera durante gran parte de los meses y durante gran parte del día, las vacas lecheras están lejos de un período de recuperación, y el uso de sistemas de enfriamiento se convierten en una necesidad.

Este estudio representa una gran oportunidad para la búsqueda de alternativas para la mitigación del estrés calórico en la región, ya que de acuerdo con Wijffels et al. (2020), uno de los aspectos más críticos del uso de índices bioclimáticos es la recopilación de los datos meteorológicos, por lo que sugieren que de manera ideal, las estaciones meteorológicas deberían ubicarse muy cerca de los animales en riesgo, por lo que, sistemas como el de la captura de datos de DiGiTH™, (DiGiTH Technologies, México), ofrece de manera expedita y eficiente los datos sobre el THI de un sitio en particular, con lo que se pueden tomar medidas para disminuir el efecto del EC en el ganado lechero de forma oportuna, además de contribuir a diseñar estrategias que mejoren el manejo del ganado lechero bajo condiciones de estrés.

Referencias

Allen JD, Hall LW, Collier RJ, Smith JF. 2015. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J Dairy Sci.* 98:118–127. DOI: 10.3168/jds.2013-7704.

Amundson J. L, Mader T. L, Rasby R. J, Hu QS. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J Anim Sci* 84: 3415–3420. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-611>.

Armstrong D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci* 77:2044–2050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6).

Becker, C. A., and A. E. Stone. 2020. Graduate Student Literature Review: Heat abatement strategies used to reduce negative effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 103:9667–9675. doi:10.3168/jds.2020-18536.

Becker, C. A., R. J. Collier, and A. E. Stone. 2020. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 103:6751–6770. doi:10.3168/jds.2019-17929. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2019-17929>.

Ben Salem M, Bouraoui R. 2009 Heat stress in Tunisia: effects on dairy cows and potential means of alleviating it. *South African J Anim Sci* 39:256–259. <https://doi.org/10.4314/sajas.v40i5.65351>.

Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83:1377–1384 doi.org/10.2527/2005.8361377x.

Bernabucci, U, Lacetera, N, Baumgard, LH, Rhoads, RP, Ronchi, B, Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domestic ruminants. *Animal* 4, 1167-1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>.

Bernabucci, U. S., Biffani, L., Buggiotti, A., Vitali, N., Lacetera, and Nardone, A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97:471–486. doi:10.3168/jds.2013-6611.

Bouraoui, R, Lahmar, M, Majdoub, A, Djemali, M, Belyea, R. (2002): The relationship of temperature humidity-index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51, 479-491. <https://doi.org/10.1051/animres:2002036>.

Buffington DE, Collazo-Arocho A, Canton GH, Pitt D, Thatcher WW, Collier RJ. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans ASAE* 24:711–714. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>.

Cerutti, M, Rivas-Sada, E. 2008. La construcción de la cuenca lechera en la Laguna (1948-1975). *Estud. Soc* [online]. 2008, vol.16, n.31 [citado 2019-01-23], pp.165-204. Disponible en: . ISSN 0188-4557.

Chen, S., Wang, J, Peng, D., Li, G., Chen, J., y Gu, X. 2018. Exposure to heat-stress environment affects the physiology, circulation levels of cytokines, and microbiome in dairy cows. *Scientific Reports.* 8:14606. DOI:10.1038/s41598-018-32886-1.

Collier, Robert J., Hall, Laun, W. 2012. Quantifying heat stress and its impact on metabolism and performance. Department of Animal Sciences. University of Arizona.

DeShazer, James A.; Hahn, G. LeRoy Xin, H. 2009. Chapter 1: Basic Principles of the Thermal Environment and Livestock Energetics. In: *Agricultural and Biosystems. Agricultural and Biosystems Engineering Publications*, St. Joseph, MI. p. 1–22. Available from: https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/234

Dikmen S, Hansen PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J Dairy Sci* 92:109–116. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>.

Du Preez, JH, Giesecke, WH, Hattingh, PJ. 1990a. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity index

mean values during the four main seasons. Onderstepoort Journal of Veterinary Research 57, 77-86.

Du Preez, JH, Hatting, PJ, Giesecke, WH, Eisenberg, BE. 1990b. Heat stress in dairy cattle and other live- stock under Southern African conditions. III. Monthly temperature-humidity index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. Onderstepoort. Journal of Veterinary Research 57, 243-248.

Dunn, RJH, Mead, NE, Willett, KM, Parker, DE. 2014. Analysis of heat stress in UK dairy cattle and impact on milk yields Environ. Research Letters 9, 064006 (11pp). Eurosur <http://www.eurosur.org/GEM/GEM102.HTM>.

Frank KL, Mader TL, Harrington JA, Hahn GL. 2001. Potential climate change effects on warm-season livestock productions in the Great Plains. Journal series no. 14462, Agric. Res. Div., University of Nebraska, USA.

Gantner V, Mijic P, Jovanovac S, Raguz N, Bobic T, Kuterovac K. 2012. Influence of temperature-humidity index (THI) on daily production of dairy cows in Mediterranean region in Croatia. In: Casarus I, Rogosic J, Rosati A, Stokovic I, Gabina D (ed) Animal farming and environmental interactions in the Mediterranean region. European Federation of Animal Sciences (EAAP) scientific series no. 131, Wageningen Academic Publishers, pp 71–78.

Gantner, V., Bobic, T, Gregic, M, Gantner, R, Kuterovac, K, Potocnik, K. 2017. The differences in heat stress resistance due to dairy cattle breed. Mljekarstvo 67 (2), 112-122. doi: 10.15567/mljekarstvo.2017.0203.

Gauly, M, Bollwein, H, Breves, G, Brugemann, K, Danicke, K, Das, G, Demeler, G, Hansen, H, Isselstein, J, Konig, S, Loholter, M, Martinsohn, M, Meyer, U, Potthoff, M, Sanker, C, Schroder, B, Wrage, N, Meibaum, B, von Samson-Himmelstjerna, G, Stinshoff, H, Wrenzycki, C. 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. Animal 7, 843-859. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002352>.

Hahn GL, Mader TL, Eigenberg RA. 2003. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. In: Lacetera N, Bernabucci U, Khalifa HH, Ronchi B, Nardone A (eds) Interaction between climate and animal production. EAAP technical series 7. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp 31–44.

Herbut, P, Angrecka, S. 2018a. Relationship between THI level and dairy cows' behaviour during summer period, Italian Journal of Animal Science, 17:1, 226-233, DOI: 10.1080/1828051X.2017.1333892.

Hernandez A, Dominguez B, Cervantes P, Munoz-Melgarejo S, Salazar- Lizan S, Tejeda-Martinez A. 2011. Temperature-humidity index (THI) 1917-2008 and future scenarios of livestock comfort in Veracruz, Meexico. Atmosfera 24:89–102.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007): Climate Change. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge/ New York, NY, USA.

Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows, a review. Livest. Prod. Sci., 77: 59–91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X).

Kelly, CF, Bond, TE. 1971. Bioclimatic factors and their measurement: A guide to environmental research on animals. National Academy of Sciences, Washington, DC.

Kibler, HH. 1964. Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. Research Bulletin Missouri Agriculture Expanded Station, 862.

Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 84:712–719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>.

Mazcorro, VE, de La Fuente, HJ, Jiménez, EML, González, HM. 1991. La producción agropecuaria en la Comarca Lagunera. Su evolución reciente: 1960-1990, Uach.

Moretti R, Biffani S, Chessa S, Bozzi R. 2017. Heat stress effects on Holstein dairy cows' rumination. *Animal*. (12):2320-2325. doi: 10.1017/S1751731117001173

Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, and U. Bernabucci. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57–69. doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011.

Ravagnolo O, Misztal I, Hoogenboom G. 2000. Genetic component of heat stress in cattle, development of heat index function. *J Dairy Sci* 83:2120–2125. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6).

Reiczigel, J., Solymosi, N, Konyves, L, Maroti-Agots, A, Kern, A, Bartyik, J. 2009. Examination of heat stress caused milk production loss by the use of temperaturehumidity indices. *Magy Allatorv* 131, 137-144.

Rhoads ML, Rhoads RP, VanBaale JJ, Collier RJ, Sanders SR, Weber WJ, Crooker BA, Rulquin H, Caudal JP. 1992. Effects of lying or standing on mammary blood flow and heart rate of dairy cows. *Annales De Zootechnie*. 41:101. DOI: 10.3168/jds.2008-1641.

Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Bovino leche Poblacion ganadera 2006 – 2015 Cabezas. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165998/bovlech.pdf>.

Silva RG, Morais DAEF, Guilhermino MM. 2007. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Rev Bras Zootec* 36:1192–1198.

Spiers, D.E., Eilersieck, M.R., Lucy, M.C., 2018. Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 1–15. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14283>.

St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries¹. *J. Dairy Sci.* 86: E52–E77. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5.

Tao X, Xin H. 2003. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Trans ASAE* 46:491–497. <https://doi.org/10.13031/2013.12971>.

Theusme, C., L. Avendaño-Reyes, U. Macías-Cruz, A. Correa-Calderón, R. O. García-Cueto, M. Mellado, L. Vargas-Villamil, and A. Vicente-Pérez. 2021. Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *Science of the Total Environment.* 751:1–11. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141779.

Tolkamp BJ, Haskell MJ, Langford FM, Roberts DJ, Morgan CA. 2010. Are cows more likely to lie down the longer they stand? *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 124: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.02.004>.

Vasseur E, Rushen J, Haley DB, de Passille AM. 2012. Sampling cows to assess lying time for on-farm animal welfare assessment. *J. Dairy Sci.*, 95: 4968–4977. doi: 10.3168/jds.2011-5176.

Vitali A, Sagnalini M., Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone, A, Lacetera N. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 3781-3790. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2127>.

West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

Wijffels, G., M. Sullivan, and J. Gaughan. 2020. Methods to quantify heat stress in ruminants: Current status and future prospects. *Methods*. 0–1. doi:10.1016/j.ymeth.2020.09.004.

Zimbelman RB, Rhoads RP, Rhoads ML, Duff GC, Baumgard LH, Collier RJ. 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Pages 158–169 in *Proceedings of the Southwest Nutrition Conference*. R. J. Collier, ed. Fecha de consulta 2 de febrero de 2009. http://cals.arizona.edu/ans/swnmc/Proceedings/2009/14Collier_09.pdf.