



# ESTRÉS CALÓRICO EN GANADO LECHERO

Consideraciones Económicas  
y de Bienestar Animal



Esta publicación surge en el marco del proyecto “Sistema de alerta temprana y monitoreo de estrés calórico para ganado lechero en Chile (PYT-2022-0159)”, ejecutado por el instituto de producción animal de la universidad Austral de Chile, financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).



Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Registro de propiedad intelectual N° 2024-A-4932

**Autores:**

Rodrigo Arias I. Ing. Agrónomo PhD.  
Reinaldo Pinto P. Ing. Agrónomo MSc.

**Coautores:**

Juan Pablo Keim Ing. Agrónomo Dr.  
Enrique Bombal C. Médico veterinario MSc.

**Diseño:**

Katherine Hardessen @hardessen

**fotografía:**

Rodrigo Arias I. Ing. Agrónomo PhD.  
Reinaldo Pinto P. Ing. Agrónomo MSc.  
Juan Pablo Keim Ing. Agrónomo Dr.

**Impresión:**

Imprenta America / [www.iamerica.cl](http://www.iamerica.cl)

**Primera edición Tiraje:**

500 ejemplares

Valdivia, Chile

Mayo 2024



# ÍNDICE

<b>1. ¿QUÉES EL ESTRÉS CALÓRICO?</b>	<b>5</b>
<b>2. SIGNOS Y EFECTOS DEL ESTRÉS TÉRMICO</b>	<b>10</b>
<b>3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ESTRÉS CALÓRICO</b>	<b>14</b>
<b>4. EL ESTRÉS Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE</b>	<b>16</b>
• Caracterización de la producción nacional	<b>18</b>
• Número de horas con estrés térmico por macrozona	<b>20</b>
• Disminución de la producción de leche	<b>23</b>
• Impacto económico del estrés por calor en sistemas lecheros	<b>25</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>28</b>



## 1.¿QUÉ ES EL ESTRÉS CALÓRICO?

El balance térmico o termorregulación es un proceso fisiológico que permite a los animales mantener su temperatura corporal constante, independientemente de las condiciones ambientales externas. Este proceso se lleva a cabo a través de la interacción de dos componentes clave: la temperatura corporal del animal, que en vacas lecheras fluctúa entre 37.8°C y 39.3°C, y la temperatura ambiental del entorno en el que se encuentra.

La zona termoneutral corresponde a la combinación de variables climáticas en la cual las vacas pueden mantener su temperatura corporal dentro de un margen normal sin la necesidad de realizar ajustes fisiológicos. Sin embargo, a diferencia de otros animales domésticos, las vacas no disipan la temperatura corporal de forma eficiente, ya que su capacidad para sudar es limitada, dependiendo en gran parte del jadeo como mecanismo para lograr un balance térmico y perder el exceso de calor acumulado. Además, el proceso de fermentación ruminal genera calor adicional que el animal tiene que disipar, especialmente en el periodo de verano. Por lo tanto, cuando la temperatura ambiental se encuentra por encima de la zona termoneutral, se desencadenan una serie de respuestas fisiológicas y de comportamiento para mantener la homeostasis térmica. Aun así, durante el día las vacas tienden a incrementar su temperatura corporal y a disipar esta carga de calor durante la noche, cuando no hay radiación solar y la temperatura ambiental disminuye. En condiciones climáticas extremas, o durante las denominadas “olas de calor”, cuando las noches no son lo suficientemente frescas, el animal puede acumular calor generando una condición desfavorable que puede afectar la salud y el bienestar del animal, así como también su respuesta productiva y reproductiva. Todo esto cobra mayor relevancia en un contexto de cambio climático, el que es una realidad a la cual todos debemos adaptarnos. En efecto, durante la última década, en Chile se ha presentado aumento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor.

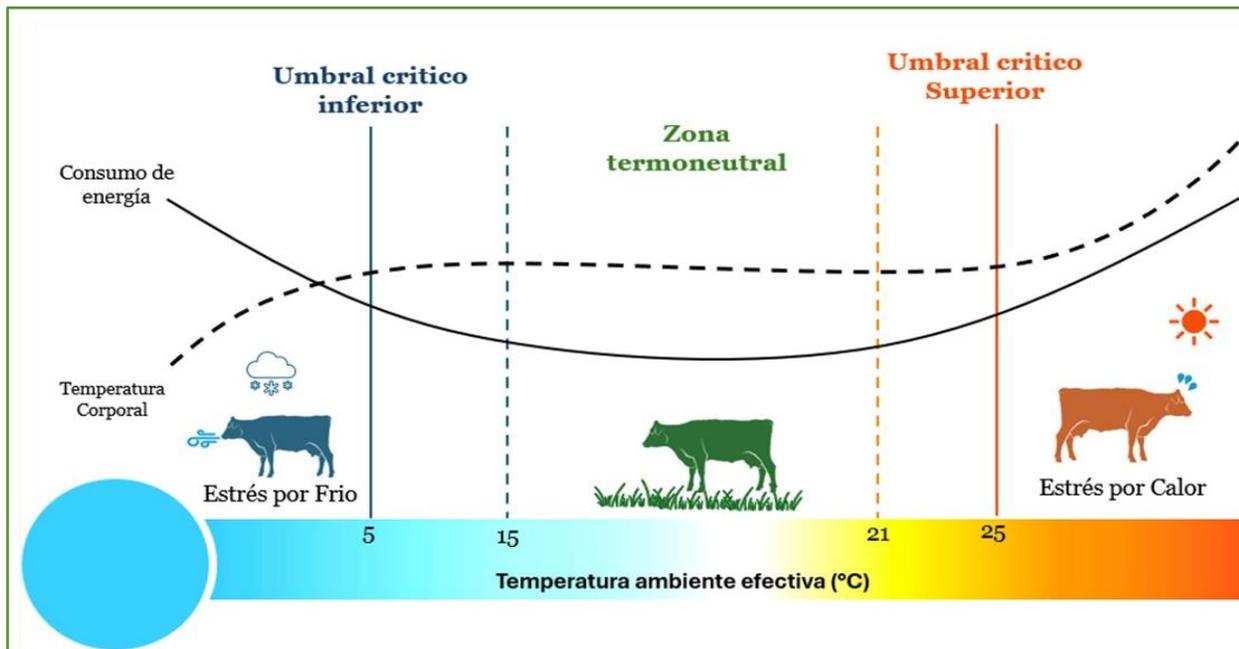


Figura 1. Zona termoneutral en bovinos (Adaptado de Avendaño-Reyes 2012)

Cabe señalar que en la respuesta individual ante estos eventos climáticos desafiantes es altamente variable. No obstante, el ganado lechero de alta producción tiene una zona de confort térmica que es relativamente pequeña con temperaturas que fluctúan entre 5 y 25 °C. En términos generales los bovinos son animales que pueden soportar temperaturas tan bajas como -25 °C, si tienen acceso a alimento y agua, pero tienen una muy pobre resistencia a temperaturas superiores a 25 °C. Por otra parte, el estrés térmico está influenciado por muchos factores, tanto climáticos (temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento, precipitaciones), los propios del animal (raza, potencial productivo, estado de salud, temperamento) como los de manejo (distancias de desplazamiento, disponibilidad de sombras, hora de ordeño, y otras medidas de mitigación). Si bien en Chile este es un problema que se podría denominar como incipiente, en otras partes del mundo es muy grave, provocando la muerte de cientos a miles de animales tanto en ganadería de carne como de leche.

Un aspecto clave para adoptar estrategias de mitigación en un sistema productivo es el reconocimiento de los umbrales térmicos a partir de los cuales los animales sufren y se ven afectado su desempeño productivo y reproductivo. Sin embargo, a pesar de que usualmente utilizamos la temperatura ambiental como un valor de referencia del confort térmico, existen diferentes interacciones entre las variables ambientales que condicionan el ambiente térmico en el cual el animal vive, crece, produce y se reproduce. Así entonces, no es recomendable utilizar a la temperatura ambiental como valor umbral. Es por lo que en la actualidad existen diferentes índices de confort térmico que combinan dos o más variables climáticas con tal de tener una representación fidedigna

sobre el confort térmico que experimenta un animal. En este sentido, uno de los más antiguos y populares es el índice de temperatura y humedad (THI de sus siglas en inglés; Fórmula 1), desarrollado originalmente por Thom en 1959 para humanos, el que fue posteriormente extendido al ganado doméstico por Berry y colaboradores (1964).

$$\text{THI} = (0,8 \times \text{TA}) + ((\text{HR}/100) \times (\text{TA} - 14,4)) + 46,4$$

*Donde TA = Temperatura ambiente y HR humedad relativa*

Para animales bajo sistemas de manejo intensivo, el THI se ha utilizado ampliamente desde 1970 para medir el riesgo de sufrir estrés por calor basándose en los umbrales propuesto en el Livestock Safety Weather Index. Cabe señalar que el THI tiene ciertas limitaciones, especialmente en vacas a pastoreo ya que no incluye a la radiación solar ni a la velocidad del viento, dos importantes variables que contribuyen al ambiente térmico que experimenta un animal en pastoreo a diferencia de un animal que está estabulado en un galpón de alimentación. Es por ello que Mader y colaboradores (2006) propusieron un ajuste por velocidad del viento y radiación solar, denominándose este como THI ajustado y que se estima con la siguiente ecuación:

$$\text{THIa} = \text{THI} + 4,51 - (1,992 \times \text{VV}) + (0,0068 \times \text{RS})$$

*Donde: THI = índice de temperatura y humedad;  
VV = velocidad del viento (m/s);  
y RS = radiación solar (W/m<sup>2</sup>)*

Si bien el uso de índices como el THI y el THI ajustado ha sido ampliamente utilizado, existen otros como el Índice Integral del clima (CCI por sus siglas en inglés) el cual es índice multiestacional más nuevo que proporciona un ajuste de la temperatura ambiente en función de la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar. Si bien se ha demostrado que el CCI tiene un mejor desempeño como predictor de cambios en las respuestas fisiológicas como la frecuencia respiración, temperatura superficial y temperatura ambiental (Yan et al., 2021), posee una gran limitante relacionado con la complejidad del cálculo, sin embargo, su inclusión en sistemas de alerta y control del entorno de los animales permitiría mejorar la predicción de eventos de estrés térmico en el ganado.

Por otro lado, establecer un umbral para cualquiera sea el índice por utilizar es de fundamental importancia ya que esto determinará el momento a partir del cual se comenzarán a tomar medidas de mitigación pensando en el bienestar de los animales y en su desempeño. Muchos investigadores han buscado relacionar el umbral de THI con indicadores de salud, fertilidad y producción. Así, por ejemplo, en un estudio realizado en Alemania, Gernand y colaboradores (2019), informaron que la detección de celo y las tasas de preñez por inseminación artificial comenzaron a disminuir cuando el promedio diario de THI superó los valores de 57 y 65, respectivamente. Por otro lado, Spires y colaboradores (2004) informaron que la producción de leche disminuye en 0,41 kg/vaca/día por cada punto de incremento de THI a partir de un THI = 69, disminuyendo además el consumo de alimento después de un día del inicio de estrés, en tanto la producción de leche disminuyó después del segundo día de estrés calórico. Otros autores también han reportado diferentes valores de umbrales para el THI. Por ejemplo, Brügemann y colaboradores, (2012) reportaron que THI > 60 presentan disminuciones de 0,17 kg de leche/vaca/día en sistemas pastoriles. Los cambios en la producción de leche se han utilizado ampliamente para determinar el umbral de THI por el impacto económico que representa. Históricamente el umbral crítico fue establecido en base a la caída en la producción de leche, la que comenzaba a declinar con un THI = 74. Posteriormente, en el 2009 Zimbelman y colaboradores determinaron que vacas con producciones superiores a 35 kg/día podrían presentar signos de estrés con THI = 68 (Figura 2).

		Humedad Relativa (%)							
		0%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	90%
Temperatura (°C)	16	59	60	60	60	60	60	61	61
	18	61	62	62	62	63	63	64	64
	20	63	64	64	65	65	66	67	68
	22	64	66	66	67	68	69	70	71
	24	66	68	69	70	71	72	73	74
	26	67	70	71	72	73	74	76	78
	28	69	72	73	74	76	77	79	81
	30	71	74	75	77	78	80	82	85
	32	72	76	77	79	81	83	85	88
	34	74	78	80	82	84	86	88	91
	36	75	80	82	84	86	88	91	95
	38	77	82	84	86	89	91	94	98

THI	<68	Sin riesgo de estrés térmico
	68<72	Estrés leve: Se evidencian pérdidas en producción y reproductivas. Frecuencia respiratoria superior a 60 exhalaciones por minuto (epm), Temperatura rectal > 38,5°.
	72-80	Estrés moderado: Perdidas en producción, calidad de leche y rendimiento reproductivo, búsqueda de sombras, disminución del apetito, aumento de la frecuencia respiratoria (superior a 85 epm) y de la temperatura corporal (temperatura rectal > 40°C).
	>80	Estrés severo: Disminución pronunciada del rendimiento reproductivo, descenso del 20% en la producción de leche. Frecuencia respiratoria superior a 120 epm, Temperatura rectal > 41°C.

Figura 2 Umbrales índices de temperatura y humedad establecidos por Zimbelman et al. (2009)

Por otro lado, el impacto del estrés térmico no sólo será influenciado por las condiciones ambientales, sino que también de las características del sistema productivo. En general, se piensa que los animales en condiciones de pastoreo son menos sensibles al estrés calórico. Sin embargo, se debe tener precaución y asegurar condiciones de sombra pues la ausencia de esta puede incrementar la carga calórica de los animales. Por otro lado, predios con sistemas más intensivos pueden beneficiarse al optar con sistemas de estabulación completa bajo galpones suministrando sombra suficiente, además de sistemas de enfriamiento como ventiladores y agua. Sin embargo, un adecuado diseño de la infraestructura resulta clave para que cumpla con el objetivo.

Las vacas de alta producción son más sensibles a las condiciones de calor y alta humedad, ya que generan más calor metabólico, esto principalmente debido al volumen a alimento consumido y dietas altamente energéticas y, al mayor calor metabólico generado resultante de la síntesis de leche. Es así como distintas razas o animales con distintos potenciales de producción poseen zonas de confort térmico diferentes, a partir de la cual surgen diferentes respuestas físicas y niveles de adaptación al estrés por calor. Las vacas Jersey, por ejemplo, son menos sensibles al estrés por calor que las Holstein Americanas. Por otro lado, animales que ya poseen algún tipo de des-orden fisiológico, tienen un mayor riesgo de sufrir estrés por calor, ya sea por animales que ven su función capacidad respiratoria disminuida, problemas metabólicos asociados a los primeros meses de lactancia o durante el periodo de transición, y por déficit nutricionales.

## 2. SIGNOS Y EFECTOS DEL ESTRÉS TÉRMICO



El aumento de la temperatura corporal en los animales se debe a varios factores, como el aumento del calor metabólico y la dificultad para disipar el calor en condiciones ambientales desfavorables. Esto lleva a que la temperatura corporal, que normalmente oscila alrededor de 38 - 38.5°C, se eleve. Se ha observado que alcanza su punto máximo aproximadamente dos horas después del punto máximo de temperatura ambiente. Para evaluar este fenómeno, se suele medir la temperatura rectal del animal, que se considera elevada si supera los 39°C. El incremento en la frecuencia respiratoria (jadeo) es una de las primeras respuestas fisiológicas que adopta el animal como un mecanismo para disipar el exceso de calor, incluso llegando a presentar dificultad para respirar, conjuntamente se observa la presencia de una salivación excesiva y babeo. Se ha establecido que una vaca Holstein Friesian que se encuentra en una zona de termo neutralidad, presenta un rango de entre 40 a 60 epm, mientras que vacas que superan las 80 epm se encuentran bajo una condición de estrés. Gaughan y colaboradores (2008) desarrollaron una escala que combina la frecuencia respiratoria (epm) y el comportamiento de los animales para establecer el nivel de des confort y su riesgo al estrés calórico. Esta escala se conoce como la escala de jadeo la cual se define con puntajes que van desde 0 a 4.5 (Cuadro 1).

**Cuadro 1** Evaluación de la puntuación de jadeo, descripción de la afección y frecuencia respiratorias asociada (epm).

Puntaje	Estado	Frecuencia respiratoria
0	Sin jadeo, dificultad para ver el movimiento del pecho.	60
1	Ligero jadeo, boca cerrada, sin baba, fácil de ver el movimiento del pecho.	60-90
2	Jadeo rápido, presencia de baba, boca cerrada	90-120
2,5	Jadeo rápido, presencia ocasional de baba, jadeo con la boca abierta.	90-120
3	Boca abierta y babeo excesivo, cuello extendido	120-150
3,5	Boca abierta y babeo excesivo, con la lengua ligeramente fuera, ocasionalmente completamente extendida por cortos periodos de tiempo.	120-150
4	Boca abierta con la lengua completamente extendida por periodos prolongados con babeo excesivo. Cuello extendido y cabeza erguida	>160
4,5	Igual a 4, pero con la cabeza baja. El babeo puede cesar.	Variable, puede disminuir FR

Adaptado de Lees y colaboradores (2018)

- Un aumento en la frecuencia cardíaca, disminuyendo el flujo de sangre hacia órganos internos y aumentando hacia la piel lo cual sumado a una vasodilatación, principalmente de los vasos cutáneos, que permite el incremento del volumen del flujo de sangre caliente y aumenta la pérdida de calor a través de la piel.
- Al sudar el agua liberada ayuda a enfriar la piel al evaporarse. Como resultado, se produce una disminución de la temperatura que se transmite a través de los vasos sanguíneos en la piel hacia la sangre circulante, lo que reduce la temperatura general del cuerpo.
- Modificación del comportamiento, ya que cuando hace calor, las vacas buscan refugio en áreas sombreadas para evitar la exposición directa al sol y reducir su temperatura corporal. Si no hay suficiente sombra disponible, las vacas pueden negarse a echarse para evitar la conducción de calor desde el suelo, además, el mantenerse de pie le permite aumentar la superficie expuesta al viento, siempre y cuando exista.
- Incremento en el consumo de agua y hacinamiento alrededor de las fuentes de agua.

## Efectos sobre el ganado lechero

Los cambios metabólicos y fisiológicos que los animales ponen en marcha para intentar restablecer la homeostasis corporal para intentar adaptarse a las condiciones ambientales pueden ocasionar efectos negativos en su desempeño productivo y reproductivo, pudiendo además comprometer su estado de salud e inmunosupresión (Figura 3). En general es frecuente observar una disminución del consumo de materia seca con la finalidad de ralentizar su metabolismo y generar una menor carga de calor (ya que un alto consumo de alimento conduce a un aumento del calor metabólico). Además de una reducción o ausencia de rumia y en consecuencia menor calor de fermentación. Está disminución en el consumo de alimento conlleva a una disminución de la producción de leche y en la calidad de esta.

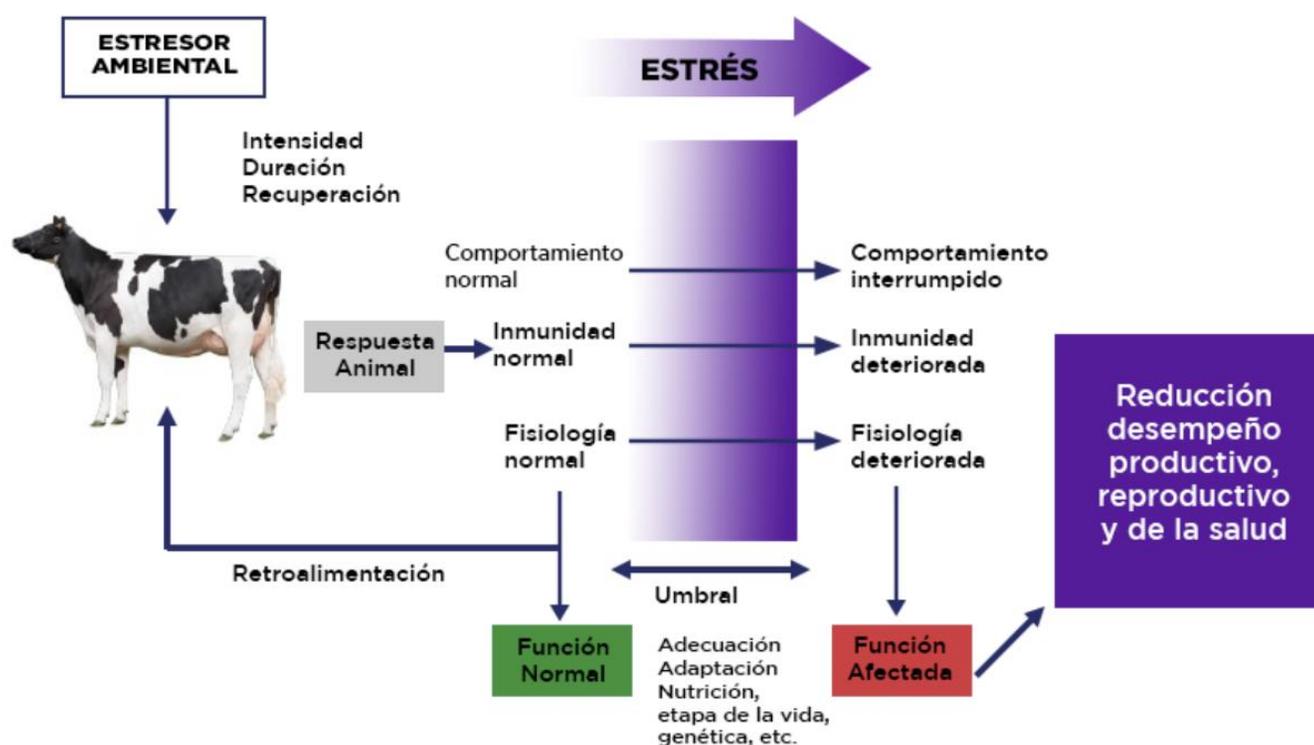


Figura 3 Efectos estrés calórico sobre el metabolismo de vacas lecheras (Adaptado de Nienaber & Hahn, 2007)

La disminución de la producción de leche puede explicarse considerando varios factores, como la disminución del consumo, la redistribución del gasto energético con el fin de reducir la temperatura corporal, alteraciones del metabolismo de los nutrientes, cambios en la distribución del flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos, problemas de salud incrementados por la condición de estrés y por daños en las vellosidades intestinales que reducen la absorción de nutrientes en el intestino delgado. Además, al inicio de la lactancia las condiciones climáticas generan la máxima influencia (primeros 60 días de lactancia). Este período temprano de lactancia es cuando las vacas de alta producción tienen un balance energético negativo y compensan este déficit movilizándolo las reservas corporales. Los procesos catabólicos están asociados con la producción de calor metabólico por encima del ya inducido por la alta ingesta de nutrientes y el ambiente térmico. Como resultado de esto, la producción de leche puede disminuir entre un 10% a 25%, pudiendo alcanzar incluso un 40% en casos extremos. Otras estimaciones establecen pérdidas de producción que fluctúan entre 1,0 a 4,0 kg/leche por vaca y día bajo condiciones de estrés térmico (West *et al.*, 2003). Además, la composición de la leche se ve afectada con una disminución en la proteína (0,03 - 0,07 kg día), y de la grasa láctea (0,01 - 0,07 kg día; Rhoads *et al.*, 2009). A ello se suman los cambios metabólicos que afectan el sistema inmune, aumentando así el riesgo de incrementar el contenido de células somáticas en vacas lecheras (Igono *et al.*, 1988).

La disminución del rendimiento reproductivo debido a las altas temperaturas ambientales estacionales están asociadas con una baja eficiencia reproductiva debido a una variedad de factores: una menor expresión del estro (celos silenciosos) disminuyendo su detección en hasta un 50%; una menor tasa de concepción (hasta un 30%), reducción del diámetro y el volumen folicular, desregulación. Además, se puede incrementar la incidencia de otros cuadros clínicos como abortos prematuros, distocias, retención de placenta y metritis. Sumado a lo anterior, vacas que durante el periodo seco estuvieron bajo estrés calórico tienen terneros de menor tamaño, calostro de menor calidad y producción de leche. En consecuencia, los agricultores pueden presentar un incremento en los días abiertos y la tasa de concepción incluso llegando a eliminar animales de buen mérito genético por problemas reproductivos. Cualquier situación de estrés, incluido el estrés térmico provoca estrés oxidativo, es decir, un desequilibrio producto de un aumento del flujo de radicales libres, y por otro lado hay un agotamiento de las reservas corporales de compuestos antioxidantes. Esto conduce a una alteración de las funciones celulares e incluso causar la muerte celular (oxidación de lípidos e hidratos de carbono, oxidación de proteínas y errores de codificación genética ya que ocasionan daños en el ADN). Siendo el estrés oxidativo un factor importante ya que modifican las respuestas inmunitarias e inflamatorias, aumentando la susceptibilidad a diversas enfermedades, como mastitis, acidosis, cetosis, enteritis, neumonía y enfermedades respiratorias.

### 3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ESTRÉS CALÓRICO

Para mejorar la comodidad de las vacas y minimizar la pérdida de producción en condiciones térmicas adversas, tomar medidas de control es vital. En esta sección se revisarán recomendaciones para la mitigación del estrés térmico.

Se debe considerar en adaptar los manejos al ritmo de los periodos de riesgo de estrés térmico. No se debe sacar a los animales al exterior durante los periodos de calor extremo, sino sólo por la mañana temprano, cuando bajan las temperaturas, o por la noche. Debe reducirse el tiempo de espera antes del ordeño. No se debe trabajar con el ganado por la noche, aunque haga menos calor, ya que la temperatura central del ganado alcanza su punto máximo dos horas después del pico de temperatura ambiente y el ganado tarda al menos 6 horas en disipar su carga de calor. La sombra puede ayudar a reducir la carga de calor solar (aproximadamente en 30%) y la sombra del alimento y el agua también ofrece ventajas de producción, es por lo que una de las primeras recomendaciones para ayudar a disminuir la temperatura corporal en vacas. Las sombras naturales (árboles), son de buena calidad, su principal limitación está dada por la baja disponibilidad en potreros. Mientras que el uso de sombras artificiales ha demostrado ser de gran utilidad para vacas en pastoreo donde las vacas evidencian preferencia por permanecer bajo sombra,

mantienen una temperatura corporal y una frecuencia respiratoria más baja. Al proporcionar sombra, se ha observado un aumento en la producción de leche, con incrementos superiores al 3%. En sistemas de manejo intensivo, es importante asegurar áreas de sombra efectiva para cada vaca, calculando al menos 4.5 m<sup>2</sup> por animal y garantizando que la altura mínima de la sombra sea de 4 metros. Por otro lado, el uso de ventiladores es una práctica ampliamente usada con la finalidad de aumentar la velocidad del aire y reducir la humedad ambiente, lo que ayuda a bajar la temperatura corporal del ganado al favorecer la pérdida de calor por convección. Normalmente se instalan en áreas de y descanso. Además, deben estar estratégicamente ubicados para garantizar que el aire se mueva de manera efectiva en todo el espacio.



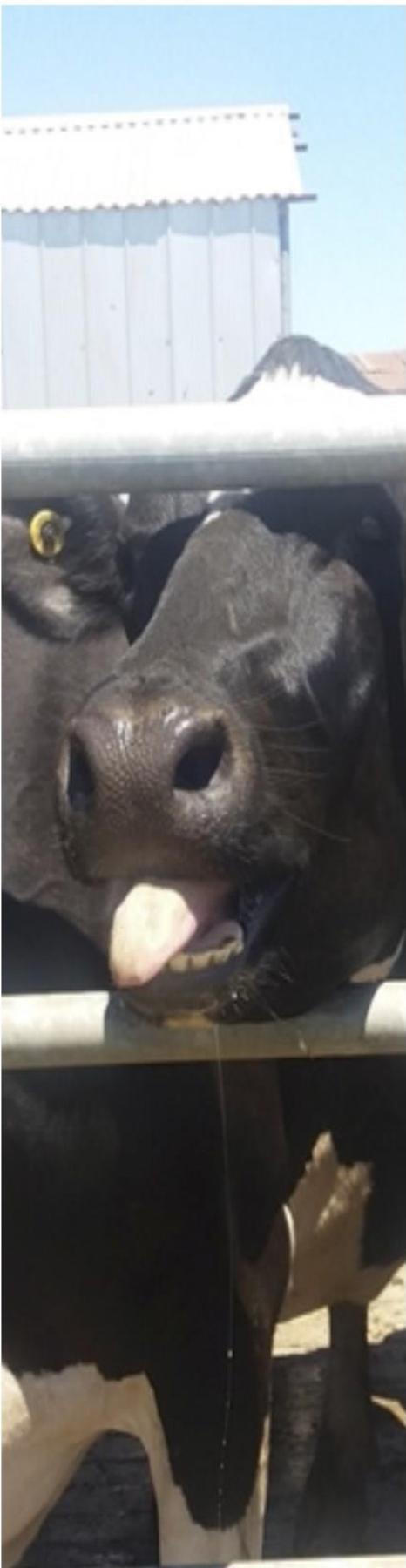


En general, se recomienda que el flujo de aire por animal en un sistema de ventilación mecánica para reducir el estrés térmico debe estar en el rango de 3 a 10 metros cúbicos por hora por cada 100 kg de peso vivo.

En caso de estrés térmico, el consumo de agua de los animales aumenta drásticamente (+ 50%), pudiendo llegar a más de 120L/día. El suministro de agua debe ser capaz de proporcionar el 1,1% del peso corporal del ganado por hora. Un animal de 500 kg necesita unos 5,5L de agua por hora. Por lo tanto, es esencial suministrar agua continuamente e instalar antes de los periodos de calor extremo para acostumar a los animales a beber más. Los abrevaderos deben mantenerse limpios para animar al ganado a consumir suficiente agua. Los bebederos deben mantenerse alejados de la luz solar directa para evitar que aumente la temperatura del agua.

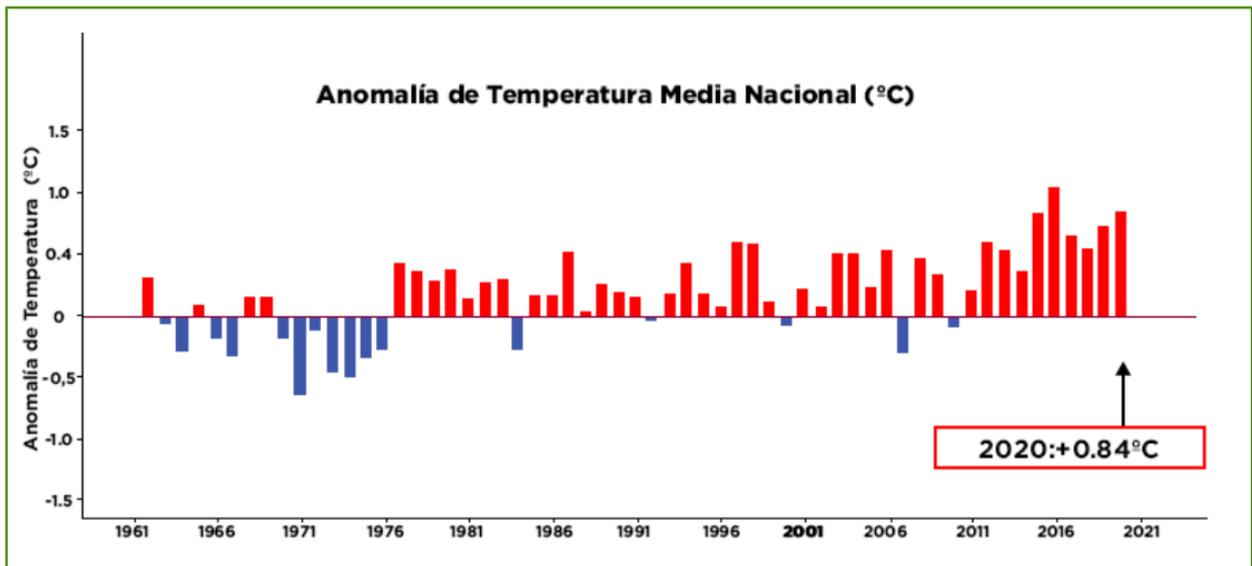
La ingesta de alimento y las distribuciones de alimentación deben estimularse para recortar los picos de fermentación ruminal. Debe utilizarse forraje fresco, fácilmente degradable por las va-cas; es preferible una ración concentrada en energía más digestible para limitar la fermentación ruminal, que genera calor metabólico, y compensar la caída de la ingesta de alimento. Existe una gama de antioxidantes dietéticos que pueden añadirse a la dieta de un animal para mejorar su defensa antioxidante (vitamina E, carotenoides, polifenoles y selenio). Durante el estrés térmico, se produce una pérdida significativa de minerales (sodio, potasio, cloro) a través del sudor y la orina. Por lo tanto, un aumento temporal del suplemento mineral (K, Na y Mg) puede compensar estas pérdidas.

## 4. EL ESTRÉS Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE



El cambio climático es uno de los desafíos más importantes que enfrentamos hoy en día, y sus efectos son evidenciables a nivel mundial. Siendo una realidad a la cual los sistemas ganaderos tienen que adaptarse. La salud del ganado se puede ver comprometida de manera directa o indirecta. Se estima que el principal riesgo para la agricultura nacional se encuentra ligado a un incremento de eventos de sequías, inundaciones e incremento de la temperatura ambiental.

Según un informe del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, entre 1950 y 2015, la temperatura media anual en el país aumentó en  $1^{\circ}\text{C}$ , lo que ha aumentado la frecuencia y duración de las olas de calor especialmente en las regiones centrales del país (Piticar, 2018). Además, la Dirección Meteorológica de Chile (2020) señala que se ha observado un aumento sostenido de la temperatura media en Chile, con una tendencia lineal de  $+0,14^{\circ}\text{C}$  por década en el periodo comprendido entre 1961-2020. Además, desde el 2011 los años han sido consecutivamente más cálidos que lo normal, sumando 10 años seguidos, donde el año 2016 se presentó la mayor temperatura promedio ( $13,8^{\circ}\text{C}$ ) con un incremento de  $1,03^{\circ}\text{C}$  (Figura 4; Dirección General de Aeronáutica Civil). Del mismo modo, Ferón et al. (2019) informaron que los días extremadamente cálidos al menos se duplicaron entre los meses de diciembre y enero en América del Sur. Por otro lado, para el periodo 1981-2010, la mayoría de las ciudades de Chile registraron entre 1 y 2 olas de calor cada verano. Sin embargo, desde entonces las olas de calor al menos se han duplicado, experimentando entre 4 y 5 por verano. El caso más extremo se registró en 2017 en la ciudad de Curicó (Chile central), con una ola de calor que duró 16 días continuos (Vicencio, 2018). Algunas proyecciones señalan que, en Chile se espera que las temperaturas medias anuales aumenten entre  $1,4^{\circ}\text{C}$  y  $1,7^{\circ}\text{C}$  para mediados de siglo y entre  $3^{\circ}\text{C}$  y  $3,5^{\circ}\text{C}$  para finales de siglo (The World Bank Group, 2021).



**Figura 4** Anomalías absolutas en °C de la temperatura media nacional respecto al periodo 1961-1990. Las barras rojas indican calentamiento y las azules enfriamiento (Dirección Meteorológica de Chile, 2020).

Los sistemas de producción lechera son altamente dependientes de factores ambientales, especialmente aquellos sistemas que dependen del pastoreo, haciéndolos altamente vulnerables a cambios en las condiciones climáticas respecto a las consideradas normales para una localidad.



## Caracterización de la producción nacional

La producción de leche en Chile se lleva a cabo en una amplia variedad de zonas climáticas, desde la Región Metropolitana hasta la Región de Los Lagos. Esto implica que cada región tiene características particulares en cuanto a sus condiciones climáticas, lo que influye en la exposición de las vacas lecheras al estrés térmico. Por esta razón, el Consorcio Lechero ha definido ocho macrozonas, en las cuales se agrupan localidades con características climáticas y geográficas similares. De esta manera, se pueden identificar y gestionar adecuadamente los factores de riesgo en cada zona, lo que es esencial para asegurar una producción sostenible de leche y la salud y bienestar de las vacas lecheras. Las macrozonas se representan en la Figura 5 y son descritas en detalle por Lanuza et al. (2013). Debido a su importancia y las diferencias en los sistemas productivos, se describen dos grandes grupos de macrozonas.

Las Macrozonas I y II se encuentran ubicadas en la zona central del país, entre las regiones de Valparaíso y el noroeste del Bío-Bío. Aquí, el clima es templado cálido con una estación seca de 7-8 meses y precipitaciones que oscilan entre 300 y 1000 mm por año. Los sistemas de producción son intensivos, con predominio de vacas Holstein Frisonas, alimentadas con raciones totalmente mezcladas y genotipos de alta producción en confinamiento y eventual pastoreo. La base de forraje es Alfalfa-Maíz bajo riego, con un alto uso de concentrados y subproductos. La productividad varía entre 6,000 y 12,000 litros por vaca por año. Por otro lado, las Macrozonas III, IV, V, VI, VII y VIII se caracterizan por tener un clima templado-lluvioso con una corta estación seca. Aquí, las precipitaciones fluctúan entre 1300 y 1800 mm por año. Los sistemas de producción pueden ser intensivos y semi-intensivos, con un predominio de sistemas pastoriles entre las macrozonas lecheras III y VIII, que van desde la región de La Araucanía hasta el sur del país. El 12% restante se encuentra entre las macrozonas I y II, entre las regiones de Valparaíso y Bío-Bío (ODEPA, 2019). En 2022, la producción nacional alcanzó los 2218.39 millones de litros, con el 86.4% concentrado en las regiones del sur del país, comprendidas entre las macrozonas III a VIII.

Se ha diseñado un ensayo con el objetivo de comprender las características climáticas de cada macrozona lechera durante el verano. Este estudio proporcionará información crucial para la gestión y la toma de decisiones en la producción lechera en diferentes áreas geográficas del país. Para llevar a cabo este análisis, se seleccionaron un total de 19 estaciones meteorológicas de la red nacional de agrometeorología del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA; <https://agrometeorologia.cl>). Estas estaciones han sido elegidas por su representatividad en cada una de las ocho macrozonas lecheras.

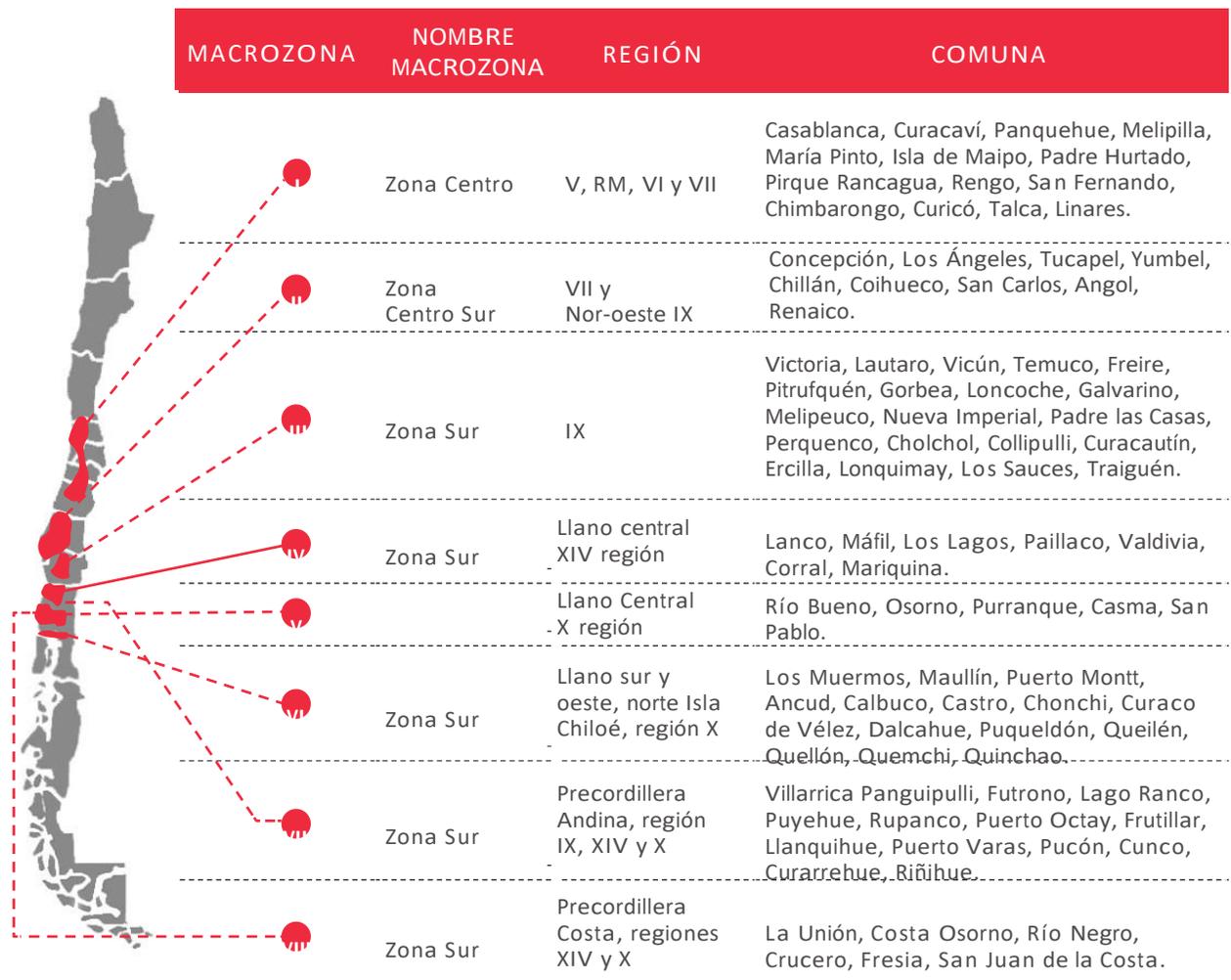


Figura 5 Distribución de las macrozonas lecheras en Chile (Bombal *et al.*, 2016)

De cada una de estas localidades, se recopilaron registros horarios de cuatro variables meteorológicas clave: temperatura ambiente (T, en grados Celsius), humedad relativa (HR, en porcentaje), velocidad del viento (VV, en metros por segundo) y radiación solar (RS, en vatios por metro cuadrado). Estos registros corresponden a las últimas cinco temporadas de verano, comprendidas entre noviembre y marzo, a partir de la temporada 2017-2018.

El impacto económico del estrés por calor en la actividad lechera en Chile se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por ST-Pierre *et al* (2003), que consideró las pérdidas por producción de leche, días abiertos, sacrificio de vacas y muerte, utilizando los índices THI y THIaj. Los valores umbral para ambos índices se establecieron en 65.

## Número de horas con estrés térmico por macrozona

Para el análisis se ha considerado el promedio mensual del registro de horas de estrés calórico de las últimas 5 temporadas estivales (entre el año 2017 y 2022). Además, de la duración de los eventos de estrés, conocer entre que horas del día se presentan con mayor frecuencia estas condiciones permite orientar las medidas de mitigación.

El número promedio de horas en las que se superó el umbral de los índices de confort térmico (THI: 65; THIadj: 65) en cada macrozona lechera se presenta en la Figura 6. Estos valores corresponden a la media de las últimas cinco temporadas de verano (2017-2018 a 2021-2022). Hubo diferencias importantes en el número de horas bajo estrés térmico por macrozona, independientemente del índice térmico utilizado, con los valores más altos en las macrozonas I, II y VIII. Asimismo, existe una gran variación entre los meses evaluados (noviembre a marzo), con un mayor número de horas por encima del umbral de estrés por calor en los meses de verano (diciembre, enero y febrero) que en marzo y noviembre. En las macrozonas I y II fue donde se alcanzaron las mayores duraciones de estrés térmico con periodos que representan aproximadamente un 50% de la duración del día, esta característica se mantuvo entre los meses de diciembre y febrero. Por otro lado, en la macrozona I se presentaron amplios periodos de estrés comenzando desde las 09:00 y extendiéndose aproximadamente durante 10 horas en los meses de noviembre diciembre y marzo, mientras que en enero y febrero los periodos de estrés se extendían hasta las 21:00 horas.

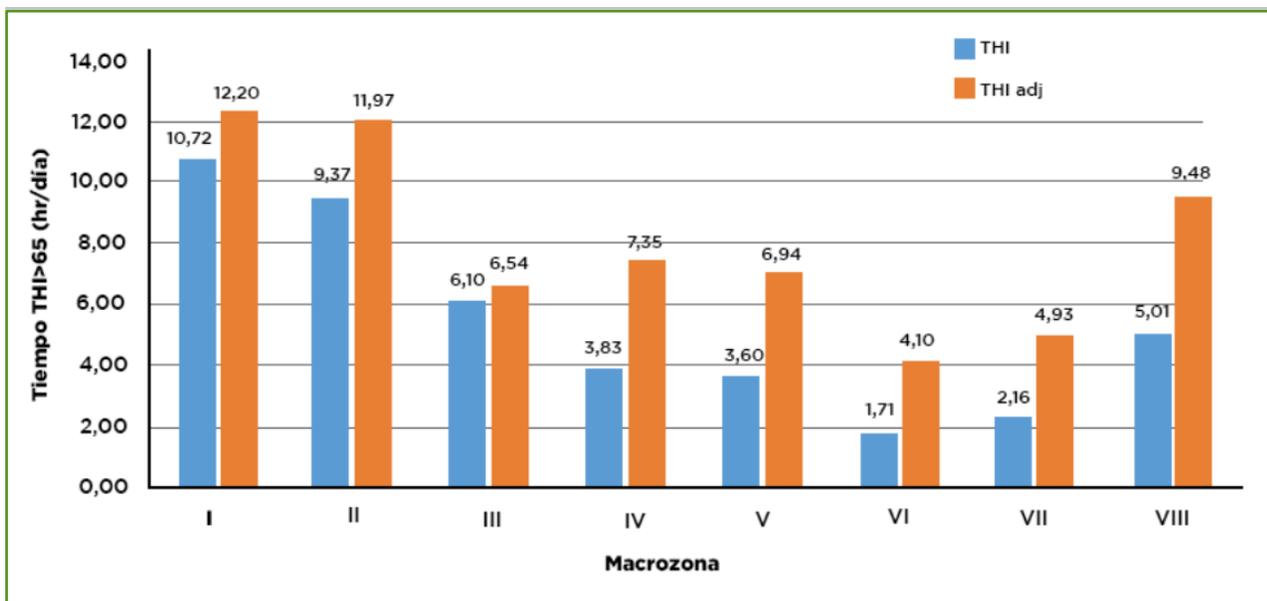


Figura 6 Promedio del número de horas diarias de estrés por calor, estimada a partir de cinco estaciones utilizando el THI y el THIadj.

En los cuadros 2 y 3 se muestran los rangos horarios en los que se presenta estrés térmico con mayor frecuencia. Es importante resaltar que en la macrozona 3, el porcentaje de horas con estrés calórico varía entre 3.24 y 7.46 horas al día, cifras inferiores a las reportadas en las primeras 2 macrozonas. Estos valores se vuelven más relevantes, especialmente (con más de 5 horas diarias) entre diciembre y marzo, con períodos de estrés que comienzan alrededor de las 12:00 y se extienden durante 5 a 7 horas. En tanto para las macrozonas 4 y 5 presentan unos tiempos similares de estrés, con los menores tiempos en el mes de noviembre con 1,31 y 1,19 hrs respectivamente, mientras que, entre los meses de enero y febrero alcanzaron entre 5 y 6 horas diarias de estrés. Siendo el periodo el entre las 12:00 y 18:00 hr, el cual se presentaron más frecuentemente la condición de estrés. En la macrozona 6 y 7 se registran los menores periodos de estrés térmico, siendo más significativos para los meses de enero y febrero en un rango horario de entre las 14:00 y 17:00. La macrozona 8 presenta una mayor duración respecto a las macrozonas 4, 5, 6 y 7, registrando un promedio de la temporada de 5 horas por día. Con tiempos que varían entre las 2,03 horas durante el mes de noviembre, hasta 7,49 horas durante febrero (15:00 a 17:00 hr).

Conocer los rangos horarios en que se presentan con mayor frecuencia estrés térmico durante el día, es importante para programar medidas de control ya sea en sistemas intensivos mediante uso de ventiladores o en sistemas pastoriles donde se puedan tomar medidas de manejo como el seleccionar potreros de pastoreo que se encuentren cerca del sector de lechería, con disponibilidad de sombra y agua en suficiente cantidad y calidad. Un estudio realizado en Brasil por Jahn *et al.* (2018) evaluó el efecto de la sombra en la producción de leche y el comportamiento de las vacas a pastoreo. Los resultados mostraron que la producción de leche de las vacas aumentó significativamente cuando se les proporcionó sombra durante las horas más calurosas del día. Además, las vacas pasaron más tiempo pastando y menos tiempo descansando bajo la sombra, lo que indica que la sombra les proporcionó suficiente confort para realizar sus actividades diarias. Por otro lado, la distancia de desplazamiento también puede afectar el bienestar de las vacas lecheras y su producción de leche. El desplazamiento de las vacas en condiciones de estrés calórico puede aumentar la demanda de energía y la producción de calor metabólico, lo que puede empeorar los síntomas del estrés calórico. Estas medidas son de vital importancia ya que como se muestra en los cuadros 2 y 3 los periodos de mayores índices de estrés calórico coinciden con el horario de ordeña en la mayoría de las lecherías.



**Cuadro 2** Rango horario de mayor frecuencia bajo condición de estrés calórico (THI > 65) según macrozona lechera y mes del año.

Macrozona	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
I	09:00-19:00	9:00-20:00	9:00-20:00	10:00-20:00	09:00-19:00
II	12:00-18:00	10:00-19:00	10:00-20:00	10:00-20:00	12:00-18:00
III	-	13:00-18:00	11:00-19:00	11:00-19:00	13:00-17:00
IV	-	-	14:00-18:00	13:00-18:00	-
V	-	-	13:00-17:00	12:00-18:00	-
VI	-	-	-	14:00-17:00	-
VII	-	-	-	14:00-17:00	-
VIII	-	13:00-17:00	12:00-18:00	12:00-19:00	15:00-14:00

En la cuadro 3, se presenta el promedio de la cantidad de horas bajo estrés al considerar un THlaj, de igual forma se consideró un umbral de 65. En términos generales se logra apreciar un incremento que varía entre 1 y 5 horas estrés. Siendo las macrozonas 4 y 5 las que presentaron los mayores incrementos pasando de 3.83 y 3.60 a 7,34 y 6,93 hrs día, respectivamente.

**Cuadro 3.** Rango horario de mayor frecuencia bajo condición de estrés calórico (THlaj > 65) según macrozona lechera y mes del año.

Macrozona	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
I	09:00-19:00	08:00-21:00	08:00-22:00	9:00-21:00	10:00-20:00
II	10:00-18:00	9:00-20:00	9:00-21:00	9:00-21:00	10:00-19:00
III	13:00-14:00	11:00-17:00	11:00-17:00	11:00-18:00	13:00-16:00
IV	13:00-14:00	11:00-18:00	11:00-19:00	10:00-19:00	12:00-17:00
V	13:00-14:01	11:00-17:00	11:00-18:00	10:00-18:00	12:00-16:00
VI	-	-	12:00-14:00	11:00-16:00	-
VII	-	12:00-15:00	12:00-16:00	11:00-17:00	-
VIII	11:00-17:00	10:00-19:00	09:00-20:00	09:00-20:00	11:00-18:00



## Disminución de la producción de leche e impacto económico

Como era de esperar, la producción de leche estimada también se vio afectada por los principales efectos de la macrozona y el índice térmico. Cabe señalar que productores de la macrozona I (localidades de San Felipe, Casablanca y Melipilla en el centro de Chile) han reportado pérdidas diarias en producción de leche que fueron muy cercanas a las aquí reportadas (THIaj), oscilando entre 5 y 8 litros por vaca por día en días de altas temperaturas con vacas que no tenían acceso a la sombra. Por otro lado, se estimó que el efecto de la radiación solar es menor en las regiones del sur (macrozonas III a VIII) en comparación con la zona central (macrozonas I y II). Sin embargo, en las regiones del sur por las características de los sistemas productivos, las vacas pasan más tiempo pastando en muchos casos con acceso limitado a la sombra natural o incluso sin sombra disponible. Por otro lado, los valores previstos para la disminución de la producción de leche utilizando THIaj para la macrozona V también son muy cercanos a los reportados en algunas investigaciones realizadas en la estación de investigación INIA Remehue ubicada en Osorno (X región), oscilando entre 1,2 y 2,8 L/vaca/día en el período estival.

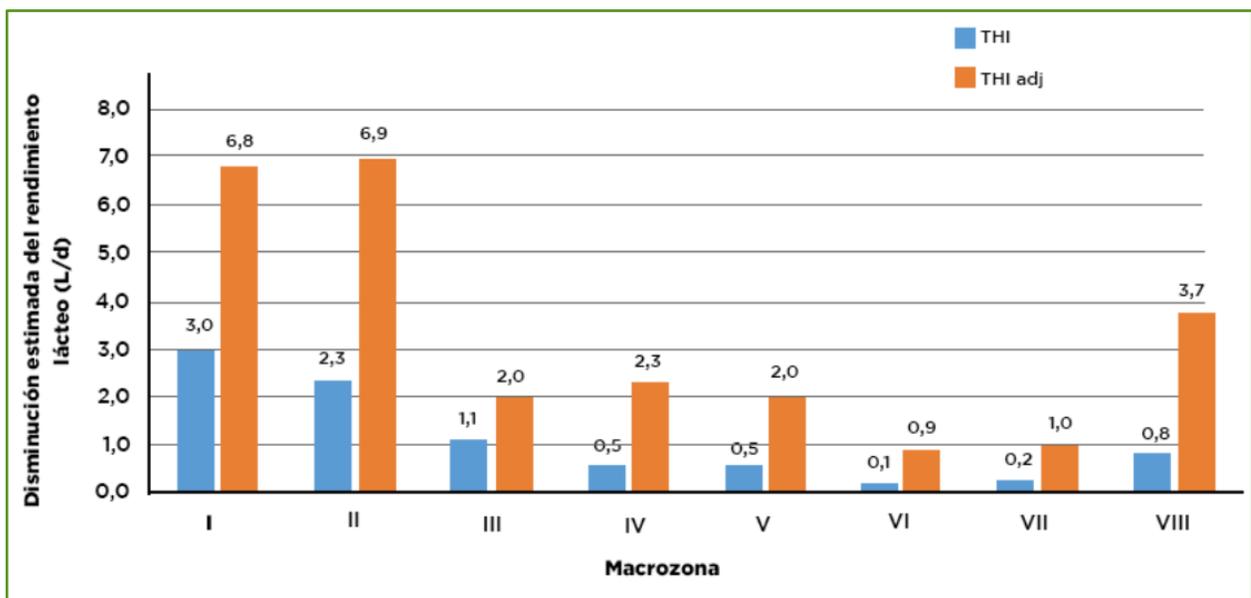


Figura 7 Disminución estimada del rendimiento lácteo (L/d) asociada a los efectos del estrés térmico en las macrozonas lecheras chilenas para dos índices de confort térmico THI y THIaj.

En el cuadro 4 se presentan las pérdidas en producción promedio mensual de las últimas 5 temporadas estivales tanto para THI y THIaj. Como era de esperar las pérdidas en producción fueron más altas entre los meses de diciembre, enero y febrero, mientras que durante los meses de noviembre y marzo se presentó un menor efecto del estrés térmico. Sin embargo, para las macrozonas I y II durante los meses de noviembre y marzo si se estiman disminuciones en producción que oscilaron entre 1 y 4 L/vaca/día, es por eso que se hace necesario, especialmente en estas macrozonas el evaluar un periodo más extenso de tiempo. Por otro lado, al considerar el THI ajustado para la determinación de las pérdidas en producción mantienen un mismo comportamiento, sin embargo, los valores son superiores en promedio 2.8 veces mayores. A nivel nacional, nuestras estimaciones de disminución en la producción de leche entre 1.1 y 4.0 veces mayores para THI y THIaj respectivamente que las reportadas por Bombal *et al.* (2016). Estos valores también son inferiores a los comunicados en otros países. De hecho, Valtorta y Gallardo (2004) informaron que, en vacas de pastoreo con acceso a sistemas de enfriamiento, la producción de leche fue 1,04 litros mayor que en vacas sin acceso a un sistema de enfriamiento. Los mismos autores informaron que su ensayo se realizó a mediados del verano. Para nosotros, los resultados probablemente se magnificarían durante condiciones climáticas más cálidas. Muchos investigadores han reportado una reducción en la producción de leche, la calidad de la leche, así como en los ingresos totales de los productores. Estos informes también destacan variaciones en aquellos elementos importantes que son atribuibles a las condiciones regionales particulares (Campos *et al.*, 2022, Liu *et al.*, 2019).

**Cuadro 4** Estimación mensual de la disminución de la producción de leche (L/d) asociada a los efectos del estrés térmico en las macrozonas lecheras chilenas para dos índices de confort térmico THI y THIaj

Macrozona	Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo	
	THI	THI aj	THI	THI aj	THI	THI aj	THI	THI aj	THI	THI aj
I	1,78	4,98	3,26	7,87	3,99	8,30	3,69	7,68	2,16	4,21
II	0,81	3,62	2,34	7,70	3,40	9,27	3,58	9,40	1,59	4,71
III	0,26	0,81	0,76	1,66	1,62	2,53	1,92	3,24	0,90	1,39
IV	0,07	0,84	0,36	2,22	0,68	3,20	1,07	3,71	0,33	1,46
V	0,06	0,67	0,30	1,83	0,59	2,64	1,07	3,75	0,27	1,24
VI	0,00	0,17	0,06	0,63	0,14	1,11	0,44	1,84	0,06	0,52
VII	0,02	0,26	0,08	0,71	0,21	1,15	0,54	2,06	0,10	0,58
VIII	0,13	1,39	0,55	3,48	1,05	5,06	1,64	6,35	0,46	2,31



## Impacto económico del estrés por calor en sistemas lecheros

Para las estimaciones del impacto económico se consideró el efecto de la disminución en la producción de leche (L/vaca/temporada) para cada macrozona y el precio promedio pagado a productor en el periodo enero-diciembre del 2022 (\$404 L). Las pérdidas por CM S (Kg/MS/temporada), días abiertos, tasa de sacrificio reproductivo y muertes se realizaron con base en lo reportado en la literatura internacional, ya que no existen estudios en Chile que aborden estos temas. Como se logra apreciar en la figura 8 la producción de leche y la tasa de sacrificio fueron los factores más importantes que contribuyeron a las pérdidas económicas totales. Sin embargo, las contribuciones varían según la macrozona, así como por el índice térmico utilizado, siendo mayor con el THlaj (Figura 9). De hecho, las pérdidas aumentan en promedio 37,6% a nivel nacional, pero oscilan entre 9,4 y 86,0% dependiendo de la macrozona. En cuanto a la producción de leche, la disminución fue mayor en las macrozonas I, II y VIII. Asimismo, cabe destacar que existe una diferencia significativa en estas estimaciones en función del índice térmico utilizado. De hecho, cuando se utiliza el THlaj, las pérdidas aumentan un 37,6% en comparación con el THI a nivel nacional, pero con una gran variación dependiendo de la macrozona. Especulamos que las diferencias se explican en gran medida por el efecto de la radiación solar, que no se considera en el THI, y podría estar subestimando el impacto real del estrés por calor en los sistemas de producción lechera chilenos, especialmente en sistemas pastoriles.

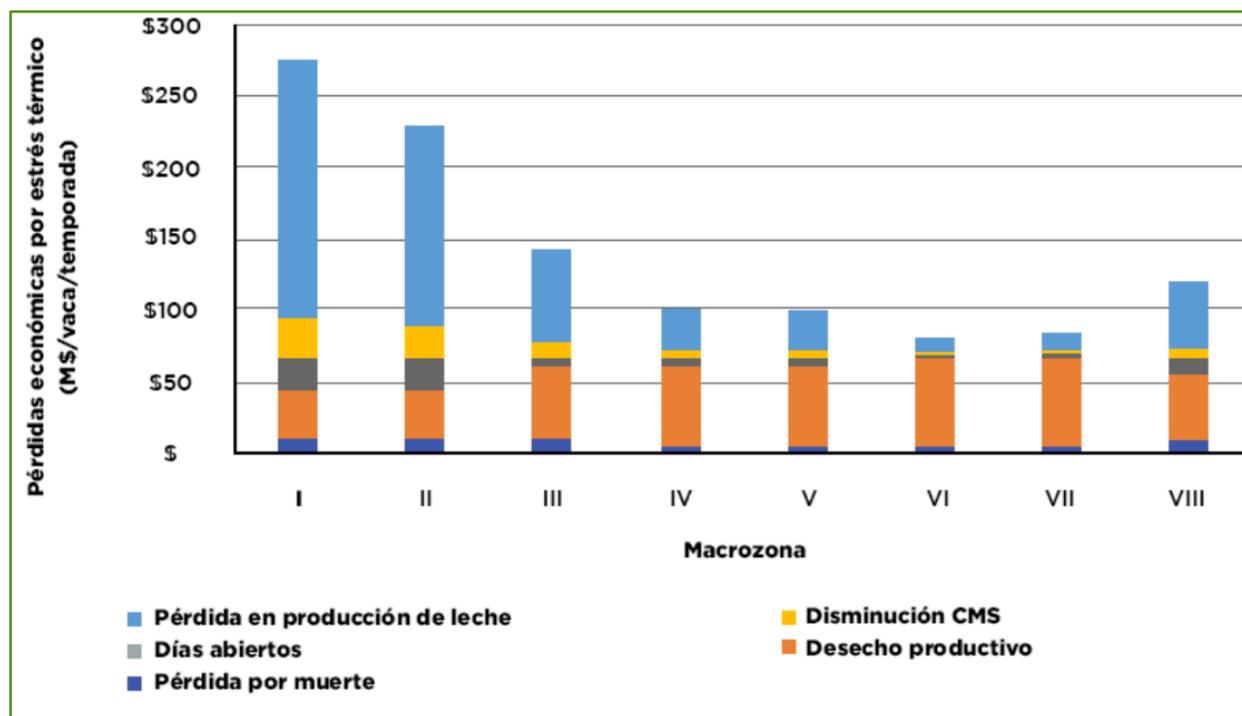


Figura 8 Pérdidas económicas estimadas (miles de pesos) asociadas a efectos del estrés térmico en vacas lecheras (THI > 65) en las distintas macrozonas.

Las pérdidas económicas promedio más bajas (promedio de 5 estaciones) por vaca ocurrieron en la macrozona VI y VII, con alrededor de \$80.000 cuando se estiman en base al THI y \$130.000 cuando se usa el THlaj para la temporada 2017-2018. Por el contrario, las mayores pérdidas por temporada se observan en la macrozona I con alrededor de \$276.000 y \$703.000 para THI y THlaj, respectivamente en la temporada 2019-2020. Sin embargo, hubo una variabilidad significativa en las pérdidas económicas asociadas con el estrés por calor entre las diferentes macro-zonas lecheras dentro de la temporada, así como entre los índices térmicos.

Un aspecto por considerar es el efecto de la radiación no sólo en la intensidad del impacto económico, sino que en la en la distribución de los costos, ya que el efecto disminución en producción de leche es muy importante al evaluar con un THlaj, donde alcanza un 67,9% de los costos evaluados mientras que para la determinación de THI alcanza un 45,2% de los costos totales

A nivel nacional, las pérdidas económicas fluctuaron entre \$23.432 millones y \$87.587 millones por temporada, lo que sin duda dependerá del precio pagado a productor y el porcentaje de productores que tomen medidas de mitigación de estrés térmico y condiciones particulares de la temporada. Estas variaciones en el precio pagado podrían explicarse por los cambios en la calidad de la leche (sólidos totales) asociados con eventos de estrés por calor (Summer *et al* 2019, Zhang y Jeong 2022). St-Pierre *et al.* (2003) reportaron una pérdida promedio de US\$1458,3 millones en los Estados Unidos sin considerar las estrategias de reducción y US\$ 848,3 millones con estrategias de reducción sólo para vacas lecheras.

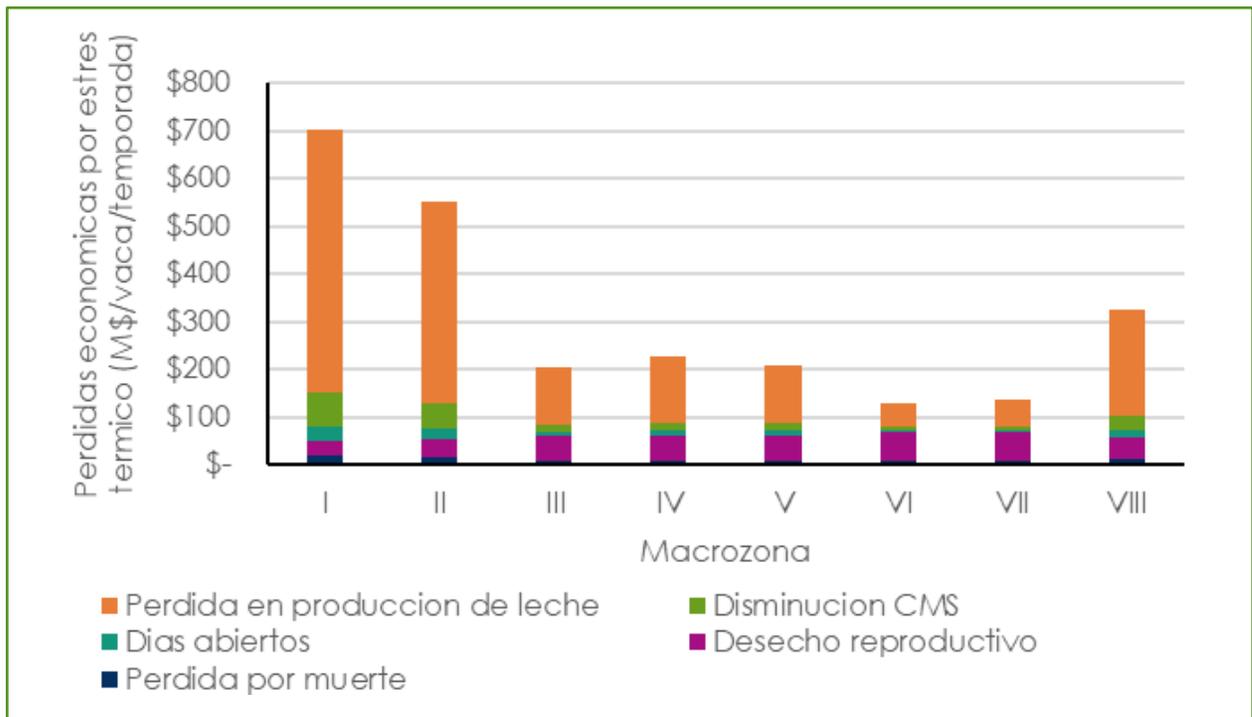


Figura 9 Pérdidas económicas estimadas (miles de pesos) asociadas a efectos del estrés térmico en vacas lecheras ( $THI_{aj} > 65$ ) en las distintas macrozonas.

Finalmente, el impacto general del estrés térmico en la producción de leche en el país sería de 2.68% y 10.02%, ya sea utilizando THI o  $THI_{aj}$ , respectivamente. Martinsohn y Hansen (2012) informaron que, en todo el mundo, sólo se ha considerado un rango estrecho de zonas geográficas y climáticas con respecto a los impactos del cambio climático en la economía de la producción lechera. Los autores agregaron que la mayoría de los estudios que tratan sobre el cambio climático y la producción lechera analizan los impactos directos o indirectos. Sin embargo, las consecuencias económicas pueden diferir significativamente de una región a otra. Del mismo modo, Mukherjee *et al.* (2013) indican que, aunque se espera que el calentamiento global aumente tanto la frecuencia como la gravedad del estrés por calor en el ganado lechero, hay muy pocos estudios económicos centrados en este tema. En resumen, esta publicación proporciona una visión detallada de cómo el estrés térmico afecta la producción de leche en diferentes macrozonas del país y destaca la importancia de implementar medidas de mitigación para mejorar el bienestar animal y la rentabilidad de los productores. Además, este estudio subraya la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor los efectos del cambio climático en la economía de la producción lechera y orientar políticas y prácticas agrícolas adaptativas.

## BIBLIOGRAFÍA

Bombal E, Bravo R, Iraira S, Flamenbaum I. 2016. Estrés calórico en Chile y opciones de mitigación. Osorno, Chile: Consorcio Lechero.

Campos IL, Chud TCS, Oliveira HR, Baes CF, Cánovas A, *et al.* 2022. Using publicly available weather station data to investigate the effects of heat stress on milk production traits in Canadian Holstein cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 102, 368-381.

Feron S, Cordero RR, Damiani A, Llanillo PJ, Jorquera J, *et al.* 2019. Observations and projections of heat waves in South America. *Sci Rep* 9, 8173.

Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 86(1), 226-234.

Lanuza F, Balocchi O, Escobar P, González M, Hazard S, *et al.* 2013. Proyecto identificación y monitoreo de sistemas productivos de leche competitivos por macrozonas homogéneas en Chile Informes Finales Proyectos FIA. Consorcio Lechero, Osorno, Chile.

Liu J, Li L, Chen X, Lu Y, Wang D. 2019. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress — A review. *Asian-Australas J. Anim Sci* 32, 1332-1339.

Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 84, 712-719.

Martinsohn M, Hansen H. 2012. The Impact of Climate Change on the Economics of Dairy Farming — a Review and Evaluation. *German Journal of Agricultural Economics* 61, 199773.

Ministerio de Medio Ambiente. 2021. Reporte anual de la evolución del clima en Chile. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>

ODEPA. (2019). Encuesta de ganado bovino 2019. from Oficina de Estudios y Políticas Agrarias <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>

Park GW, Ataallahi M, Ham SY, Oh SJ, Kim KY, *et al.* 2022. Estimating milk production losses by heat stress and its impacts on greenhouse gas emissions in Korean dairy farms. *J. Anim Sci Technol* 64, 770-781.

Piticar A. 2018. Changes in heat waves in Chile. *Global and Planetary Change* 169, 234-246.

Ruban S, Borshch OO, Borshch OV, Orischuk O, Balatskiy Y, *et al.* 2020. The impact of high temperatures on respiration rate, breathing condition and productivity of dairy cows in different production systems. *Animal Science Papers and Reports* 38, 61-72.

St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J Dairy Sci* 86, E52-77.

The World Bank Group. 2021. Climate Risk Profile: Chile. [https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-07/15916-WB\\_Chile%20Country%20Profile-WEB%20%281%29.pdf](https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2021-07/15916-WB_Chile%20Country%20Profile-WEB%20%281%29.pdf)

Valtorta S, Gallardo M. 2004. Evaporative cooling for Holstein dairy cows under grazing conditions. *Int J Biometeorol* 48, 213-217.

Vicencio J. (2018, 12/30/2022). Olas de calor: Las invitadas no deseadas del verano. Retrieved from <https://blog.meteochile.gob.cl/2018/11/15/olas-de-calor-las-invitas-no-deseadas-del-verano/>

Vriezen R, Vriezen E, Cranfield J. 2021. Milk production, mortality, and economic parameters in the context of heat-stressed dairy cattle. *CABI Reviews*