

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL NORTE DE BAJA CALIFORNIA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DE CARNE Y LECHE MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS**

**TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA**

CHILOVE THEUSME

**DIRECTOR DE TESIS**

Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES

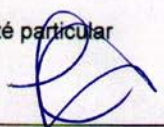
MEXICALI, B.C., MÉXICO

MAYO, 2018

La presente tesis "CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL NORTE DE BAJA CALIFORNIA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DE CARNE Y LECHE MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS", realizada por la C. Chilove Theusme y dirigida por el Ph.D. Leonel Avendaño Reyes, ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:


**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS  
DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

Comité particular




---

Ph.D. Leonel Avendaño Reyes  
Presidente/Director de Tesis




---

Dr. Ulises Macías Cruz  
Secretario




---

Ph.D. Abelardo Correa Calderón  
Sinodal



---

Dra. Ana Laura Lara Rivera  
Sinodal



---

Dr. Andrés Rafael García Cueto  
Sinodal

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme fuerzas y haberme permitido concluir este ciclo de mi vida.

Al **CONACYT** por brindarme la oportunidad y el apoyo para cumplir con una mis metas.

A la **Universidad Autónoma de Baja California** y al **Instituto de Ciencias Agrícolas** por darme la oportunidad de pertenecer y formar parte de esta alta casa de estudio.

A mi director de tesis Dr. **Leonel Avendaño Reyes** a través de su conocimiento y experiencia me brindó una nueva formación científica, nuevos conocimientos, consejos y enseñanzas con toda su profesionalidad.

Al Dr. **Ulises Macías Ulises** por sus valiosas enseñanzas en el aula, sus aportaciones y recomendaciones por la mejoría.

Al Dr. **Abelardo Correa Calderón** por compartir sus conocimientos, consejos y las palabras de aliento para seguir en adelante.

A la **Dra. Ana Laura Rivera** por ser parte de mi formación académica.

A todos los **profesores** y los **trabajadores** del Instituto de Ciencias Agrícolas por haber permitido mi estancia favorable y satisfactoria.

De forma particular quiero agradecer al **Ing. Manuel E. Colima Sánchez**, de la **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)**, por brindarme la información necesaria para realizar el presente estudio.

También quiero expresar mi agradecimiento a mi amiga-hermana **Ernande Dorvilus** por ser mi amiga y mi hermana, apoyándome en los buenos y los malos momentos, adicionalmente por las sugerencias en la realización de este documento. También a mis **compañeros** del ICA, especialmente **Arnulfo Vicente Pérez** por su ayuda incondicional en la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

A mi **esposo Wens Jacques** por ser un punto de apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, por haber confiado en mí y apoyarme para cumplir esta meta. Gracias amor.

A mi **padre** por su apoyo incondicional y entrega en la realización de mis estudios.

A **Moliène Jacques** por confiar en mis sueños completamente, por sus motivaciones y su ayuda. Te quiero mami.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Clima.....	3
2.2. Cambio climático y calentamiento global.....	4
2.2.1. Olas de calor.....	5
2.3. Impacto del cambio climático en México.....	6
2.4. Impacto del cambio climático en el sector ganadero.....	8
2.5. Descripción climática del norte de Baja California.....	10
2.6. Actividad ganadera en el norte de Baja California.....	11
2.7. Estrés calórico.....	13
2.7.1. Temperatura del aire.....	15
2.7.2. Humedad relativa.....	16
2.7.3. Velocidad del viento.....	17
2.7.4. Radiación solar.....	18
2.7.5. Índices bioclimáticos.....	18
2.8. Alternativas para mitigar estrés calórico.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Ubicación del estudio.....	22
3.2. Datos climatológicos.....	23
3.3. Compilación de los datos.....	24
3.4. Estimación de índices bioclimáticos.....	25
3.5. Análisis estadístico.....	26
IV. RESULTADOS.....	27
4.1. Variables climáticas anuales para el norte de Baja California.....	27

4.2. Variables climáticas anuales por zona .....	27
4.4. Variables climáticas por estación climática .....	31
4.5. Variables climáticas e IBT por meses del año .....	34
4.5.1. Índices bioclimáticos .....	34
4.5.2. Temperatura y humedad relativa .....	34
4.5.3. Radiación solar y la velocidad del viento .....	34
4.6. Variables climáticas e índices bioclimáticos durante el verano.....	38
4.6.1. En el estado.....	38
4.6.2. Por zona.....	38
4.6.3. Índices por meses durante el verano .....	38
4.6.4. Variables climáticas por hora del día y la noche en el verano .....	38
4.7. Tasa respiratoria estimada.....	43
4.7.1. Estimación de la tasa respiratoria diurna.....	43
4.7.2. Estimación de la tasa respiratoria por época .....	43
4.8. Correlación de las variables climáticas .....	47
4.9. Regresión de temperatura con IBT por año durante el verano .....	47
V. DISCUSIÓN.....	54
5.1. Temperatura .....	54
5.2. Humedad relativa.....	56
5.3. Velocidad del viento .....	57
5.4. Radiación solar.....	58
5.5. Índices bioclimáticos.....	59
5.5.1. Índice para ganado lechero .....	59
5.5.2. Índice para ganado carne.....	60
5.5.3. Índice para cerdo .....	62
5.5.4. Índices para ovinos .....	62
5.6. Tasa respiratoria estimada.....	64
5.7. Regresión y correlación de las variables .....	64
VI. CONCLUSIONES.....	66
VII. LITERATURA CITADA .....	67

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Proyecciones de la temporada de verano en temperatura máxima promedio y cambios a futuro (2010-2039) para Mexicali, Tijuana y Ensenada con respecto al período base 1961-1990 .....	<b>11</b>
<b>Cuadro 2.</b>	Producción ganadera en el Valle de Mexicali con respecto al estado.....	<b>12</b>
<b>Cuadro 3.</b>	Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas en las dos zonas.....	<b>22</b>
<b>Cuadro 4.</b>	Estadísticos descriptivos de las variables climáticas e índices bioclimáticos en el norte de Baja California de 2011 a 2015.....	<b>27</b>
<b>Cuadro 5.</b>	Media, mínima, máxima y comparaciones entre medias para variables climáticas e índices bioclimáticos de las zonas valle y costa del norte Baja California de 2011 a 2015.....	<b>28</b>
<b>Cuadro 6.</b>	Estadísticos descriptivos por épocas del año de las dos zonas de estudio.....	<b>29</b>
<b>Cuadro 7.</b>	Media, mínima, máxima y desviación estándar de variables climáticas por estaciones climáticas e índices bioclimáticos.....	<b>31</b>
<b>Cuadro 8.</b>	Comparaciones de medias de las variables ambientales en las estaciones bajo estudio dentro de cada zona.....	<b>32</b>
<b>Cuadro 9.</b>	Media de las variables ambientales para el norte de Baja California en verano durante 2011 a 2015.....	<b>38</b>
<b>Cuadro 10.</b>	Medias de variables climáticas e índices bioclimáticos en las dos zonas de estudio durante el verano.....	<b>39</b>
<b>Cuadro 11.</b>	Medias de variables climáticas e índices bioclimáticos por día y noche en el verano en zonas costa y valle.....	<b>41</b>
<b>Cuadro 12.</b>	Correlaciones de Pearson entre temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar e índices bioclimáticos en zonas costa y valle.....	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ilustración de las zonas bajo estudio en el estado de Baja California .....	<b>23</b>
<b>Figura 2.</b>	Medias mensuales de los índices bioclimáticos en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>34</b>
<b>Figura 3.</b>	Medias mensuales de humedad relativa y temperatura del aire en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>35</b>
<b>Figura 4.</b>	Medias mensuales de radiación solar y velocidad del viento en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>36</b>
<b>Figura 5.</b>	Medias mensuales de los índices bioclimáticos durante la época de verano de las dos las zonas de estudio.....	<b>40</b>
<b>Figura 6.</b>	Tasa respiratoria y temperatura ambiental media durante el verano de las dos zonas bajo estudio.....	<b>43</b>
<b>Figura 7.</b>	Tasa respiratoria e $ITH_{carne}$ promedio de los meses más fríos y cálidos para zonas costa y valle del norte de Baja California .....	<b>44</b>
<b>Figura 8.</b>	Tasa respiratoria máxima e $ITH_{carne}$ máximo de los meses más fríos y cálidos en zonas costa y valle del norte de Baja California .....	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b>	Relación entre años y temperatura en verano en zonas valle y costa del norte de Baja California.....	<b>48</b>
<b>Figura 10.</b>	Relación entre años e $ITH_{leche}$ en verano en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>49</b>
<b>Figura 11.</b>	Relación entre años e $ITH_{carne}$ en verano en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>50</b>
<b>Figura 12.</b>	Relación entre años e $ITH_{ovino}$ en verano en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>51</b>
<b>Figura 13.</b>	Relación entre años e $ITH_{cerdo}$ en verano en zonas valle y costa del norte de Baja California .....	<b>52</b>



## RESUMEN

La influencia de los factores climáticos sobre la actividad pecuaria ha sido demostrada desde hace muchos años, aunque es específica de cada región. Variables climáticas como temperatura (T), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) y velocidad del viento (VV) fuera de los rangos normales pueden desplazar a los animales de su zona de confort, provocando estrés calórico (EC), cuya intensidad puede ser estimada mediante índices bioclimáticos (IBT). El objetivo de este estudio fue caracterizar el norte de Baja California (BC), mediante el uso de variables climáticas (T, HR, RS, VV) e IBT, estimando el nivel de EC al que se exponen las zonas ganaderas del estado. Se analizó una base de datos de 5 años (2011 - 2015) de dos zonas (valle y costa), correspondientes a cuatro estaciones climáticas en el norte de B.C. Para estimar el grado de EC se construyeron IBT para cuatro tipos de ganado: bovino de leche, bovino de carne, ovino y porcino, considerando las variables climáticas mencionadas. Los análisis estadísticos se realizaron en SAS (2002). Los umbrales de los ITB para clasificarlos como EC se determinaron con escalas para cada tipo de ganado:  $ITH_{carne}$  e  $ITH_{cerdo}$  74 unidades, mientras que para  $ITH_{leche}$  e  $ITH_{ovino}$  72 y 23 unidades, respectivamente. Durante el verano, las variables climáticas T y RS fueron más extremas ( $P < 0.01$ ) en la zona valle que en la costa, pero en HR y VV fue lo opuesto. Se observaron diferencias ( $P < 0.01$ ) entre las zonas valle y costa en los IBT ( $ITH_{carne}=72.9$  y  $51.8$ ;  $ITH_{leche}=80.6$  y  $67.4$ ;  $ITH_{cerdo}=83.9$  y  $65.2$ ;  $ITH_{ovino}=29.5$  y  $20.1$  unidades, respectivamente). La tasa respiratoria estimada en bovinos de carne fue mayor ( $P < 0.01$ ) en la zona valle que en zona costa. En conclusión, el riesgo potencial de estrés térmico durante el verano para ganado bovino de leche, ovino y cerdo es severo en la zona valle, siendo este riesgo menor para ganado bovino de carne. La zona costa no mostró vulnerabilidad ante el clima cálido del estado. La producción pecuaria en la zona valle de BC muestra vulnerabilidad ante las condiciones climáticas de verano, lo cual hace necesario el uso de estrategias para disminuir el estrés calórico en esta zona árida del estado.

**Palabras clave:** Estrés calórico, producción de carne, producción de leche, índice temperatura-humedad

## ABSTRACT

The influence of climate factors on livestock production has been demonstrated for many years, although is specific for each region. Climatic variables such as temperature (T), relative humidity (RH), solar radiation (SR) and wind speed (WS) out of the normal range may move animals from their comfort zone, causing heat stress (HS), which intensity can be estimated by bioclimatic indexes (BCI). The objective of this study was to characterize the north region of Baja California (BC) using climatic variables (T, RH, SR, and WS) and BCI, and evaluating the degree of HS to which the animal production systems are exposed. A 5-year data base (2011 to 2015) from two zones (valley and coast), and four climatic stations of BC was analyzed. To estimate the degree of HS, the BCIs were constructed in four types of cattle: dairy cattle, feedlot cattle, sheep and swine, considering the climatic variables already mentioned. All statistical analyses were performed in SAS (2002). The thresholds of the BCIs to classify them as HS were determined with scales for each type of livestock:  $THI_{\text{feedlot}}$  and  $THI_{\text{swine}}$  74 units, while for  $THI_{\text{dairy}}$  and  $THI_{\text{sheep}}$  72 and 23 units, respectively. During summer, the climatic variables T and SR were more extreme ( $P<0.01$ ) in the valley zone than in the coast, but the opposite was observed for RH and VV. Significant differences ( $P<0.01$ ) were observed between the valley and coast zones in the BCIs ( $THI_{\text{feedlot}}=72.9$  and  $51.8$ ;  $THI_{\text{dairy}}=80.6$  and  $67.4$ ;  $THI_{\text{swine}}=83.9$  and  $65.2$ ;  $THI_{\text{sheep}}=29.5$  and  $20.1$  units respectively). The estimated respiratory rate in feedlot cattle was higher ( $P<0.01$ ) in the valley zone than in the coast. In conclusion, the potential risk of thermal stress during summer for cattle, sheep and swine is severe in the valley zone, being this risk lower for feedlot cattle. The coast zone did not show any vulnerability to the hot weather of the state. Livestock in the valley of BC shows vulnerability to summer conditions, which makes necessary the use of strategies to reduce the negative effects of HS in this arid zone of the state.

**Key words:** Heat stress, meat production, milk production, temperature-humidity index

## I. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, el cambio climático (CC) se ha vuelto un importante objeto de estudio a nivel mundial debido a que se considera una amenaza para la supervivencia de muchas especies del planeta (EPA, 2009). Se estima que ha habido un aumento de 0.85 °C en la temperatura ambiental en los últimos 100 años (IPCC, 2013), lo cual provoca cada año un gran número de víctimas humanas e impacta también en forma adversa distintas actividades económicas como la ganadería y agricultura (Kharin et al., 2007). La variabilidad en el clima y el CC tienen efectos directos sobre el ganado provocando estrés durante periodos de alta temperatura ambiental, así como efectos indirectos en la disponibilidad de insumos para su alimentación (Henshall, 2004). En Estados Unidos se estimaron pérdidas en la producción ganadera debido al estrés calórico (EC) de 2.4 billones de dólares anuales (St-Pierre et al., 2003). Por su parte, estimaciones en México revelan que las pérdidas causadas por EC se valoran hasta en 420 millones de pesos (Toribio, 2012). El desempeño productivo del ganado de leche y carne está directamente afectado por las variables climáticas de su entorno, particularmente la temperatura ambiental, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, los que en su conjunto afectan el balance térmico del animal (Arias et al., 2010).

Por otro lado, se han desarrollado diversos índices para estimar de forma más eficiente el grado de EC en el ganado combinando las variables climáticas (Thom, 1959). Desde el punto de vista práctico, el índice temperatura-humedad (ITH) es una herramienta fácil de utilizar para caracterizar el ambiente de producción y el riesgo de estrés calórico utilizando solamente la temperatura ambiente y la humedad relativa. Por ejemplo, Bohmanova et al. (2007) en Estado Unidos, Arias y Mader (2010) en Chile, De la Casa y Ravelo (2003) en Argentina, Cruz y Urioste (2009) en Uruguay y Hernández et al. (2011) en México, diagnosticaron el riesgo de estrés calórico en diferentes regiones de cada país en función del valor del ITH y, en algunos casos, estimaron el impacto en los sistemas de producción animal. Asimismo, otros autores determinaron la necesidad de ajustar el ITH con los demás factores climáticos, es decir, con la radiación y la velocidad del viento (Mader et al., 2006).

Estos índices representan herramientas útiles para determinar el grado de EC que pueden presentar los animales en diferentes sistemas productivos durante ciertos momentos del día, para determinadas épocas o meses del año, ayudando a planificar acciones para controlar su efecto, mitigando así el impacto negativo sobre el desempeño productivo y reproductivo (Molina et al., 2015). A pesar de la importancia de los índices en el sector ganadero, no existen estudios de caracterización climática por medio de índices bioclimáticos en el estado de Baja California (BC). Sin embargo, se conoce que caracterizar climáticamente una región específica es el punto de partida para determinar el impacto del EC en cualquier tipo de explotación.

Básicamente la ganadería en el norte del estado de BC se desarrolla en dos zonas: costa y valle. La primera se caracteriza por tener un clima relativamente estable, por lo que el ganado lechero aquí se concentra, mientras que la zona valle se encuentra ubicada en el desierto, siendo su clima variable y extremo, encontrándose ubicada en esta zona la ganadería de engorda, es decir, bovinos de carne, ovinos y porcinos (Avendaño, 2013). Sin embargo, de acuerdo al Plan Estatal de Acción Climática de Baja California (PEAC-BC), se pronostica un aumento de más de 1 °C en la temperatura ambiente para el estado, lo cual tendría un impacto negativo sobre la producción ganadera de esta región (PEAC-BC, 2012). En dicho estudio sobre caracterización del estado de BC sólo se tomó en cuenta la variable temperatura del aire, sin incluir las otras variables climáticas, ni tampoco los índices estimadores del estrés calórico en el ganado. Por lo anterior, se planteó el presente estudio cuyo objetivo fue caracterizar dos zonas ganaderas del norte del estado de Baja California mediante el uso de variables climáticas y de índices bioclimáticos, así como el grado de EC al que están expuestas las zonas de explotación ganadera en el estado analizando 5 años (2011 a 2015) de información meteorológica.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Clima

El clima se define como las condiciones promedio del tiempo meteorológico de un lugar en un periodo de varios años (NAS, 2008). La existencia de seres vivos en distintas regiones es determinada específicamente por los elementos climáticos (FAO, 2013). Dichos elementos son aspectos fundamentales para determinar la sobrevivencia de los seres vivos y su adaptación al ambiente. Las regiones climáticas con características diferentes en temperatura, duración del día, humedad, luminosidad y precipitación (Henshall, 2004; NAS, 2008), establecen condiciones especiales para el desarrollo de las especies. Cada una de ellas responde de manera diferente a los gradientes, y solamente los individuos que pueden adaptarse a estas condiciones son capaces de reproducirse y permanecer (Darwin, 1859). Los investigadores del área agropecuaria reconocen las importantes aplicaciones de los elementos climáticos en dicho sector, donde se realizan diversas observaciones para explicar la respuesta de los cultivos y las especies animales bajo su influencia (Almaguer-Sierra et al., 2014). Por tanto, cada especie tiene su propia capacidad de tolerancia y adaptabilidad a condiciones climatológicas distintas (Ruiz et al., 2005).

Generalmente, la distribución geográfica de las especies y el tipo de vegetación están estrictamente relacionados con los factores climáticos de cada región (Koppen, 1936; García, 1985). Por lo tanto, cada individuo, ya sea planta o animal, tiene un umbral mínimo y máximo en el cual sufre alteraciones fisiológicas que pueden modificar sus índices productivos y reproductivos (Salisbury y Ross, 1994). Por ejemplo, algunas variedades de pastos llegan a su punto óptimo de crecimiento cuando la temperatura oscila entre 23.6 y 32.2 °C, mientras que en temperaturas menores a 15.5 °C y mayores a 35 °C reducen su crecimiento (Deitsch et al., 1997). Para el caso del ganado bovino de leche, el rendimiento óptimo se da en rangos de temperaturas de 4 y 24 °C, por lo que temperaturas menores a 4 °C y mayores a 25 °C reducen su productividad (Avendaño-Reyes et al., 2012). Sin embargo, los patrones climáticos, como consecuencia de diversas actividades humanas, se han traducido en constantes

cambios ambientales y calentamiento global (Houghton et al., 2001), dificultando de esta manera la sobrevivencia de los seres vivos en distintas regiones del planeta.

## **2.2. Cambio climático y calentamiento global**

Muchas veces, el concepto calentamiento global se confunde con el CC, sin embargo, son dos conceptos distintos. El calentamiento global se define como el promedio del incremento de las temperaturas de la superficie terrestre (EPA, 2009), mientras que el CC se refiere a cualquier tipo de cambio, de forma significativa, en las condiciones climáticas por periodos largos de tiempo, los cuales pueden ser años, décadas o siglos (IPCC, 2013). En la actualidad, el CC es un tema de mucha preocupación a nivel mundial debido a su aumento de forma gradual y porque representa una amenaza a la sobrevivencias de muchas especies del planeta (Gaughan et al., 2009). Según el informe del IPCC (2013), la temperatura global se ha incrementado en 0.85 °C durante los últimos 100 años. Por otro lado, las proyecciones indican variaciones de 1.4 a 5.8 °C para el periodo 1990 a 2100 (Stern, 2007). Entonces, el CC puede indicar un signo de desequilibrio de la naturaleza ocasionando problemas sociales, productivos y económicos (Guillen, 2008).

Evidentemente, las variaciones climáticas han ocurrido con mayor impacto en los últimos 150 años, lo cual coincide con el periodo de mayor crecimiento económico a nivel mundial (IPCC, 2013). Desafortunadamente este crecimiento tiene como consecuencia impactos negativos por una alta intensificación de actividades como la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) para generar energía; los procesos industriales y su funcionamiento, como la producción de cemento, cal, amoniaco, carburos de silicio o de calcio, acero y aluminio; la deforestación y quema de la biomasa vegetal; la agricultura, hatos ganaderos y rellenos sanitarios generan metano (CH<sub>4</sub>); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por el uso de fertilizantes, incineración de residuos y quema de combustibles en el sector transporte; así como la presencia de perfluorometano, perfluoroetano e hidro-fluorocarbonos, gases que en conjunto tienen efectos directos sobre las variables climáticas (INE, 2010).

Desafortunadamente el incremento en la temperatura ambiental afecta la seguridad de los seres vivos y, como consecuencia, provoca numerosas víctimas cada año e impacta de forma negativa a la economía mundial (Kharin et al., 2007). Las altas temperaturas han causado desastres a nivel internacional: en 2012 se registraron 73 millones de personas víctimas de temperaturas extremas y pérdidas por más de 21 millones de dólares a nivel mundial en el sector agropecuario (EM-DAT, 2012). Por otro lado, algunos países están perdiendo entre 4 y 8% de su producto interno bruto (PIB), y para 2050 se estiman pérdidas de 20% en el PIB debido al aumento de la temperatura ambiental (IPCC, 2013). En la década de 1980, distintas partes del mundo empezaron a observar incrementos de forma significativa en las temperaturas promedio globales; además, registraron condiciones climáticas inusuales como inundaciones, ondas de calor extensas, incendios en bosques, enfermedades, sequías, etc., (Yu et al., 2015). A partir de este punto, el CC se ha vuelto un tema de investigación a nivel internacional (IPCC, 2013).

### **2.2.1. Olas de calor**

El aumento significativo de los eventos de calor se hace más notable con el paso de los años, comprometiendo la vida humana y de los animales (CCAC, 2009). En Estados Unidos, entre 1999 y 2009, más de 7 mil personas murieron por causa de olas de calor (Kochanek et al., 2011). En Europa ocurrió algo parecido porque 30 mil personas perdieron la vida por la misma causa (Keatinge, 2000). Esta tendencia a condiciones cálidas también provoca la proliferación de patógenos, como la salmonela en el intestino de los animales y en los alimentos, así como el desarrollo de organismos del cólera en el agua (Djik et al., 2010). Además, los microorganismos infecciosos son sensibles a las condiciones climáticas, por lo que pueden causar una epidemia debido a su mayor tasa de reproducción, crecimiento de la población y alimentación de los vectores (Hoberg et al., 2008). En estudios realizados en Asia y América del Sur, se asociaron brotes de malaria con las variaciones climáticas; de la misma manera en Australia se asociaron brotes del virus ross con el CC y en África también aumentaron los brotes de fiebre por virus como consecuencia del CC (Thornton et al., 2008).

Sin embargo, el calentamiento global no solamente afecta la seguridad del ser humano, sino también la de los animales (Partz et al., 2005). En Nebraska, una ola de calor causó la muerte de 3 mil cabezas de ganado, mientras que en Australia se reportaron 2 mil muertes de ganado bovino en el año 2000. Por otra parte, en Europa se reportaron muertes de miles de perros, aves de corral y conejos durante el verano del 2003 (Gaughan et al., 2009). Según estudios, alteraciones en la temperatura favorecieron la aparición de nuevas enfermedades que involucran el bienestar y la producción de los animales (OMS, 1996). Sin embargo, el efecto del CC en la salud de los animales no ha sido estudiado profundamente como en los humanos, por lo tanto, las olas de calor pueden ser agentes de distribución de vectores de algunos patógenos que han causado muchas enfermedades en el ganado (Wittmann y Baylis, 2000; Summers, 2009; Tabachnick, 2010). Además, las altas temperaturas pueden aumentar la tasa de desarrollo de patógenos o parásitos que pasan parte de su ciclo de vida fuera de su huésped animal y que pueden trasladar a poblaciones más grandes (Harvell et al., 2002), lo que implica problemas de sanidad, crecimiento y reproducción en los animales domésticos (Herrera et al., 2008).

### **2.3. Impacto del cambio climático en México**

Hoy en día México se encuentra entre los países con mayor vulnerabilidad al CC, ya que 15% de su territorio, 68.2% de su población y 71% de su PIB se encuentran altamente expuestos al riesgo de impactos adversos directos por el CC (Sosa-Rodríguez et al., 2015). Asimismo, en México se estima un incremento promedio de temperatura para 2020 de entre 0.6 y 1 °C; y para 2050 entre 1.5 y 2.3 °C (Sosa-Rodríguez et al., 2015). Existen evidencias del enorme impacto del CC en los últimos 30 años sobre los ecosistemas de todo el planeta, incluyendo México (Walther, 2002). Según Pritchard y Vaughan (2007), los únicos estados de la República Mexicana que han mantenido sus temperaturas más o menos estables son Nayarit, Colima, Michoacán y Jalisco. El resto del territorio mexicano, particularmente la región del lado del océano Atlántico y el norte del país, se estiman aumentos más importantes en la temperatura (Magaña et al., 2012).



Los constantes cambios en la temperatura ocasionan desastres en la mayoría de las ciudades de la República Mexicana. En Chiapas, la lluvia intensa causó 417 muertos y 353 personas afectadas. En BC se desalojaron miles de personas, ya que más de 50 colonias se inundaron en Tijuana y Rosarito por la misma causa (CENAPRED, 2004; 2005). En Mexicali, entre 2002 a 2012, se registraron 70 muertes por golpe de calor (Díaz et al., 2014), pero de forma general, las personas afectadas en el estado de Baja California llegaron a 120 mil (EM-DAT, 2012). El país entero sufrió grandes pérdidas económicas por el efecto del CC, pues se reportaron pérdidas en cultivos, en el sector ganadero y por la presencia de incendios forestales (Magña et al., 2004). Durante el periodo 2011-2012 en México, por causa del CC, las pérdidas alcanzaron 500 millones de dólares (EM-DAT, 2012).

Sin embargo, México no ha sido indiferente frente a las estrategias internacionales para enfrentar el problema de CC, ya que se ha suscrito a acuerdos mundialmente importantes como la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992 y el Protocolo de Kyoto en 1997. Para reafirmar su posición en el tema ambiental, el Gobierno Federal, en su Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012), estableció una estrategia clara y viable para avanzar en la transformación de México sobre bases sólidas, realistas, y sobre todo responsables (PND, 2007). Estudios mencionan que México es vulnerable frente al CC y, además, los impactos serán heterogéneos (INE, 2006). El nivel de riesgo del CC afecta a las poblaciones en forma diferente, ya que también depende del grado de vulnerabilidad y de las condiciones de su entorno (Magaña et al., 2012).

Existen varios estudios realizados en los últimos años que analizan la variabilidad existente en el país entero o en distintas subregiones (Gay, 2000; Pavia, 2008). Debido a la variabilidad climática del país, sería erróneo realizar un programa a nivel nacional por el desconocimiento de la realidad local, por lo que una propuesta más adecuada es a escala reducida, de tal manera que las políticas que se implementen podrían ser a nivel regional (García-Cueto et al., 2010). Asimismo, han existido algunos estudios a nivel nacional de pequeña escala, como es el caso del estudio México (Gay, 2000) y varios a nivel estatal como el Plan Estatal de Acción Climática de Baja California (PEAC-BC, 2009). De hecho, los planes de acción climática ya están

concluidos en varios estados del país como Veracruz, Nuevo León, Puebla, Distrito Federal y Baja California, lo que permite considerar escenarios climáticos a mediano y largo plazo. Los resultados muestran heterogeneidad, por lo que es importante enfocarse en estudios locales de cada región.

#### **2.4. Impacto del cambio climático en el sector ganadero**

La ganadería es una actividad que depende mayormente de las condiciones climatológicas del lugar donde se desarrolle. Además, estas condiciones son las que definen el nivel de producción de cualquier tipo de explotación, sin embargo, debido al cambio significativo en el clima se genera incertidumbre acerca del rendimiento y el bienestar animal (Rosenzweig et al., 2008). Por su parte, la población humana en el mundo continúa aumentando de forma gradual, ya que en los últimos 50 años pasó de 3,000 millones en 1959 a 6,700 millones de personas en 2009. Para el 2050 se estima una triplicación de habitantes a nivel mundial, pudiendo llegar hasta alrededor de 9200 millones (FAO, 2013). El sector agropecuario tendrá la obligación de responder a la alta demanda alimenticia de esta población en aumento continuo. Por tanto, existe una responsabilidad del sector agropecuario por aumentar la productividad para garantizar la seguridad alimentaria, a la vez de mantener la base de los recursos naturales y responder al reto del CC a través de medidas de mitigación y adaptación (Alexandratos y Bruinsma, 2012).

Generalmente se espera un aumento de la producción en el sector ganadero a nivel mundial por el aumento en la población humana, lo que también implica la fuerte demanda de productos de origen animal. Se prevé que en 2050 la demanda de carne y leche aumenten en 73 y 58% respectivamente, en relación con los niveles de 2010 (FAO, 2013). Sin embargo, bajo condiciones de EC, varios estudios reportan fuertes pérdidas en este sector dado que se han realizado estudios que comprueban el impacto negativo del aumento de la temperatura sobre la producción animal (Adams et al., 1990; St-Pierre et al., 2003). Por mencionar algunos ejemplos, en Argentina se estimó una reducción de 60% en la producción de leche (Leva et al., 1997), mientras que en Australia se estimaron pérdidas económicas equivalentes a 11,986 dólares por cada

100 vacas sin estrategias para reducir el calor (Mayer et al., 1999). La pérdida anual en Australia se estima en 16.5 millones de dólares por elevadas temperaturas (Scarkett et al., 2006).

Las pérdidas económicas anuales de la producción pecuaria en Estados Unidos por efecto del EC se estimaron en 2.4 billones de dólares sin aplicar ninguna estrategia de mitigación; cuando se aplica alguna estrategia de mitigación, estas pérdidas se reducen hasta 1.7 billones de dólares. De esta cantidad, el ganado lechero es el que más genera pérdidas, ya que van de 897 a 1500 millones de dólares, mientras que para ganado de carne se estimaron como pérdidas 370 millones de dólares. Las pérdidas en porcinos se estimaron entre 299 a 316 millones de dólares y en la industria avícola de 128 a 165 millones de dólares (St-Pierre et al., 2003). Además, una forma indirecta en la que el clima afecta la producción animal es a través de su impacto sobre la disponibilidad y precio de los granos, producción de forraje y sanidad animal así, como su producción y reproducción (Herrera et al., 2008).

En México se ha estimado que las condiciones climáticas adversas causan pérdidas económicas en la ganadería de forma importante, reportándose pérdidas de más de 60 mil cabezas de ganado y aproximadamente \$420 millones de pesos en todo el país por año (Toribio, 2012). Otros estudios reportan pérdidas a nivel regional, como el caso del estado de Tabasco, con pérdidas de hasta 21,831 cabezas, siendo para ganado bovino de 21.8% y para ganado ovino 1.9% (CEPAL, 2011). También en Sonora, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y San Luís Potosí se reportaron pérdidas de 11,600 cabezas de ganado (CENAPRED, 2005). En el estado de Baja California, las pérdidas por EC todavía no han sido estimadas en su totalidad, sin embargo, estudios en ganado lechero reportan que la producción de leche en invierno puede resultar más del doble que la de verano en una explotación lechera comercial sin sistemas de enfriamiento (Anzures et al., 2015).

## 2.5. Descripción climática del estado de Baja California

El estado Baja California tiene una superficie de 71, 446 km<sup>2</sup> que representa el 3.7% del país. Las principales actividades económicas en el estado son la industria manufacturera y la actividad turística, así como la producción agrícola, ganadera y pesquera. Su participación al PIB nacional fue de 3.3% en 2016, que lo sitúa en el undécimo sitio a nivel nacional (INEGI, 2016). De acuerdo a resultados preliminares obtenidos durante el desarrollo del PEAC-BC, el estado es especialmente vulnerable al CC global. Se proyecta una disminución del 10 a 20% en su precipitación total anual, mientras que se estima que la temperatura media anual se incrementará entre 1.5 y 2.5 °C en los próximos 50 años (PEAC-BC, 2012).

La temperatura anual promedio no sobrepasa los 20 °C en la mayor parte del estado, excepto en la región costera del Golfo de California y en el municipio de Mexicali, donde la temperatura promedio rebasa los 25 °C. La temperatura máxima mensual promedio en el estado se presenta en los meses de julio y agosto, sobrepasando de 27 °C, mientras que los meses más fríos son diciembre y enero en los que la temperatura promedio es de alrededor de 12°C (PEAC-BC, 2012). Según proyecciones, la temperatura promedio del estado podría aumentar más de 2 °C para el año 2050, por otro lado, se estima un aumento de la temperatura para el Valle de Mexicali de entre 1.3 y 1.5 °C para el periodo 2010-2040 (García-Cueto, 2010). Aunque un cambio promedio de 2 °C podría parecer no tener gran efecto sobre los seres humanos, para algunas especies tanto animales como vegetales, puede significar un impacto negativo importante (PEAC-BC, 2012). Adicionalmente se menciona la existencia de elevada variabilidad de las temperaturas en las diferentes estaciones climatológicas del estado de Baja California (PEAC-BC, 2012).

En las ciudades del norte de BC se han registrado temperaturas variadas, ya que el clima del Valle de Mexicali es cálido seco, muy árido con temperatura media anual de 23.6 °C y temperatura media mensual muy extremosa, rebasando la máxima los 50 °C en verano, y la mínima en invierno por debajo de 0 °C. Mientras que Tijuana es de tipo semi-cálido templado con verano cálido, su temperatura media anual fue de 17.6 °C. Por otro lado, Ensenada es seco templado mediterráneo, con verano cálido y registró

una temperatura media anual de 17.2 °C (PEAC-BC, 2012). En el Cuadro 1 se puede apreciar las temperaturas máxima promedio y el cambio en el futuro de tres zonas en el estado de Baja California.

**Cuadro 1.** Proyecciones de la temporada de verano en temperatura máxima promedio y cambios a futuro (2010-2039) para Mexicali, Tijuana y Ensenada, respecto al período base de 1961-1990.

	Mexicali	Tijuana	Ensenada
Temperatura en verano (°C)	29.7	27.8	20.5
Cambios en el futuro (°C)	1.9	1.0	-0.6

Fuente: (PEAC-BC, 2012).

## 2.6. Actividad ganadera en el estado de Baja California

En 1998, Baja California era el estado con mayor superficie dedicada a las actividades ganaderas en México (Villegas et al., 2001), para posteriormente en el 2008 ocupar el quinto lugar nacional, cuando tuvo un valor económico de \$ 4' 033, 246 (SIAP, 2008); asimismo, en 2015, BC produjo 5% de la carne en canal de bovino en el país, colocándose en el sexto lugar por su volumen de producción. Es importante mencionar que BC también ocupó el décimo lugar en el ámbito nacional en relación a las cabezas de animales sacrificados, sin embargo, en cuanto al peso del animal en canal ocupó el primer lugar nacional, con un peso promedio de 216 kilogramos en 2015 (SEFOA, 2015). Mexicali es el municipio que genera la mayor producción de carne, dado que en el 2015 aportó 95% de la carne de bovino que se produjo en el estado, mientras que el remanente se repartió en los restantes municipios (SEFOA, 2015). En el valle de Mexicali, la producción ganadera esta repartida entre diferentes especies, siendo el ganado bovino el de mayor porcentaje (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Producción ganadera en el Valle de Mexicali con respecto a la producción estatal.

<b>Especies</b>	<b>Carne</b>	<b>Leche</b>
<b>Bovino</b>	95%	11%
<b>Cerdo</b>	45%	*
<b>Ovino</b>	37%	*
<b>Caprino</b>	63%	100%

Fuente: OEIRDRUS (2011)

Sin embargo, Mexicali presenta ciertas limitaciones para cumplir con una producción ganadera de manera eficiente y estable durante todo el año, ya que en temporada de verano la temperatura se incrementa en forma significativa, provocando un efecto nocivo en el sector ganadero al disminuir su productividad. Así, durante el verano, las 1,318 hectáreas dedicadas a la producción de leche y carne se encuentran bajo riesgo por las altas temperaturas en el valle de Mexicali (Montero, 2013). El clima de esta región es árido y extremo, con temperatura máxima extrema que excede de 50 °C en verano y una mínima extrema de 0 °C en invierno (INEGI, 2010), siendo la temperatura máxima extrema el factor limitante principal para desarrollar la ganadería con potencialidad en esta zona.

En zonas áridas, las condiciones climáticas extremas son predominantes, por lo que es difícil que un animal pueda mantener su homeostasis, es decir, el estado de equilibrio del medio ambiente interno del animal, limitando su desempeño (Marai et al., 2007). Generalmente, los animales criados en verano en el valle de Mexicali están fuera de su zona de confort, refiriendo a la zona de confort o termoneutral que se define como el rango de temperatura en el cual la producción y la pérdida de calor están balanceados con un mínimo esfuerzo termorregulatorio (Arias et al., 2008). Sin embargo, se usan razas con mayor capacidad de tolerancia a estas condiciones para la

crianza. Por consiguiente, se encuentran mayormente razas *Bos indicus* para la producción bovina de carne, ya que han mostrado alta adaptabilidad a condiciones climáticas extremas. Sin embargo, para la producción de leche se utiliza la raza Holstein, que es originaria de clima frío, por lo que producir de manera eficiente bajo las condiciones climáticas del Valle de Mexicali es todo un reto (Avendaño et al., 2010). No obstante, Holstein es la raza bovina de mayor producción lechera. Por lo anterior, la mayor parte de los establos productores de leche se encuentran en zona costa donde la temperatura no es tan elevada en comparación con la zona valle. Las temperaturas ambientales elevadas y fuera de la zona de confort pueden provocar el estado fisiológico llamado estrés por calor, durante el cual el animal activa una serie de mecanismos fisiológicos tendientes a disminuir la carga calórica adquirida (Armstrong, 1994; West, 2003).

## **2.7. Estrés calórico**

Ferin (2006) se refiere al estrés calórico (EC) cuando un organismo, en respuesta a un ambiente de calor, realiza ajustes para mantener su temperatura corporal y productividad, ajustes que son de tipo fisiológico, metabólico y endocrinológico. Por otra parte, Shultz et al. (2010) definen al EC como la combinación de las variables medioambientales (temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar) que ocasionan un aumento en la temperatura corporal del animal por encima de su zona termoneutral. Cuando el animal entra en EC se activan una serie de mecanismo que favorecen la regulación de la temperatura corporal y la producción de calor metabólico, (Fuquay, 1981; Marai et al., 2007).

Desde un punto de vista fisiológico, los animales domésticos en respuesta al EC aumentan su frecuencia respiratoria para perder calor por evaporación; esto es acompañado por aumentos en la frecuencia cardiaca, en la sudoración y en la salivación (Atrian y Shahryar, 2012). Estos cambios pueden conducir a pérdidas de fluidos corporales, lo cual aumenta sus requerimientos para evitar deshidratación y conservar la homeostasis sanguínea (Collier et al., 2006).

Desde un punto de vista metabólico, dado que el consumo de alimento genera calor metabólico, los animales domésticos reducen la cantidad de alimento consumido y

aumentan el consumo de agua para reducir su temperatura corporal (Amundson et al., 2006). En ganado lechero, la disminución del consumo de alimento puede conducir a un balance energético negativo porque no se cubren los requerimientos de mantenimiento y de lactancia. Vacas lecheras estresadas por calor presentan bajas concentraciones de ácidos grasos no esterificados y una elevada tasa de utilización periférica de glucosa, lo cual sugiere que la glucosa captada por distintos tejidos limita la disponibilidad de este compuesto para sintetizar leche por la ubre (Rhoads et al., 2009). West (2003) reportó que una vaca lechera lactante disminuye su consumo de MS en 0.85 kg por cada grado centígrado que aumenta la temperatura ambiente por encima de la zona termoneutral. Es posible que las consecuencias negativas del EC sobre la productividad estén reguladas por una reducida integridad intestinal ocasionada por una disminución en el flujo sanguíneo hacia el intestino (Sanz-Fernandez et al., 2014).

También estudios reportan en condiciones de EC decrecen la actividad de la glándula tiroides, es decir la glándula que produce las hormonas tiroxina y triyodotironina. Estas modificaciones en la actividad de la glándula tiroides son consistentes con la menor tasa metabólica, menor consumo de alimento, menor crecimiento y menor producción de leche en condiciones de EC (Collier et al., 2006). Asimismo se ha observado un aumento en glucocorticoesteroides, principalmente la secreción de cortisol, que es una de las principales respuestas del animal a condiciones de estrés, respuesta bastante más rápida que la de las hormonas secretadas por la glándula tiroides (Arias et al., 2008). Estos cambios en el consumo, en hormonas, así como las estrategias adoptadas por los animales para enfrentar el período de EC, provocan una reducción en su desempeño productivo y reproductivo (Polanco, 2004; Amundson et al., 2006; Avendaño-Reyes et al., 2006; Flamenbaum, 2014).

El EC ha sido reconocido ampliamente como uno de los factores que afectan la eficacia de la productividad de en la ganadería (Correa-Calderón et al., 2002; Leyva et al., 2015). En condiciones de EC, la producción del ganado lechero puede disminuir entre 10 y 20% (Flamenbaum, 2013). Otros mencionan una reducción hasta del 50 % en la producción de leche bajo condiciones de EC en verano en comparación con invierno (Anzures et al., 2015). Sobre este aspecto, algunos autores mencionan que la producción de leche en zonas áridas se caracteriza por ser estacional, es decir, existe



sobre producción en invierno y escasez de leche para abasto en verano (Avendaño-Reyes et al., 2010).

Se conoce que el impacto del EC varía entre especies, puesto que algunas razas de ovinos y caprinos han mostrado capacidad de sobrevivir en climas cálidos extremos (Khalifa et al., 2005), sin embargo, disminuyen su producción cuando el animal entra en EC. Vicente-Pérez et al. (2015) encontraron que durante los meses de verano la ganancia de peso total en ovinos de pelo preñados fue menor (9.6 kg) en comparación con los meses de invierno (11.6 kg). Otro estudio realizado por Macías-Cruz et al. (2013) comparando primavera vs verano, reportando resultados similares en ganancia de peso en ovinos de pelo de engorda, ambos estudios en la zona árida del valle de Mexicali, B.C.

Debido a los problemas que ocasiona el EC, varios autores han tratado de buscar alternativas para disminuir su efecto en el ganado (Hahn, 1999; Mader et al., 2006; Gaughan et al., 2008; Avendaño-Reyes et al., 2010; Brown-Brandl et al., 2016). Dentro de estas alternativas se pueden mencionar tres: 1) la manipulación de la dieta, 2) la inclusión de animales genéticamente más tolerantes al calor y 3) el uso de modificaciones estructurales al ambiente (Beede y Collier, 1986).

### **2.7.1. Temperatura del aire**

La temperatura del aire (T) se considera uno de los factores más importantes para identificar cuando un animal se encuentra o no en EC, por esta razón, el promedio de T es generalmente considerado como una medida térmica importante para estimar el confort de los animales (Da Silva, 2006). Una T normal o zona de confort para el ganado sería el estado constante de la temperatura corporal en el que no se necesita ningún ajuste para su mantenimiento (Khalifa, 2003). Los mamíferos son homeotermos y capaces de mantener su temperatura corporal entre 37.5 y 40 °C, dependiendo de la especie (Langois, 1994). Sin embargo, cuando la T excede el límite superior de la zona termoneutral, el animal ingresa en EC, lo que implica que no puede mantener su homeostasis.

En ganado lechero, el nivel óptimo de T para obtener los mejores resultados productivos y reproductivos oscila entre 13 y 20 °C (Cedeño, 2011), siendo su zona de confort entre 4 y 24 °C (Avendaño-Reyes et al., 2012). En ganado de carne, la zona termo neutral es entre 4 y 26 °C, sin embargo, para becerros es 10 a 26 °C. La zona termoneutral para ovinos se encuentra entre 18 y 27 °C (Al-Dawood, 2017); así, cuando la T supera 27°C, el animal se encuentra bajo EC (Avendaño et al., 2010). La mayoría de los mamíferos mueren cuando la T corporal sobrepasa de 42 °C (Bianca, 1968), mientras que en el caso de bovinos se ha observado que una temperatura rectal de 43.5 °C les puede ocasionar la muerte (Gaughan et al., 2009).

Cabe mencionar que el efecto de la T difiere entre razas, ya que los animales *Bos Taurus* comienzan a hacer ajustes si la T incrementa por encima de 16 °C, y para el caso de *Bos Indicus*, estos ajustes pueden comenzar hasta en 26 °C (Harmer et al., 2000). La tolerancia al EC varía con relación a la especie, de tal modo que, por encima de 23 °C, la ganancia diaria de peso empezó a disminuir en cerdos de 75 kg, aunque en el caso de los cerdos de 25 kg, empezó a disminuir cuando se expusieron a temperaturas superiores a 27 °C (Langridge Australia Occidental, 2014). Es evidente que la T es uno de los factores importantes para identificar el grado del estrés en la producción ganadera, aunque también se ha reconocido que puede ser alterada por la acción de la humedad relativa, radiación y velocidad del viento (Mader et al., 2006; Gaughan et al., 2008).

### **2.7.2. Humedad relativa**

La humedad relativa (HR) es el indicador de la cantidad de agua que contiene el aire en la atmósfera (Eigenberg et al., 2010), por lo tanto, es considerada como un factor potencial adicional al estrés térmico en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas (Da Silva, 2006). Sus principales efectos están asociados con la reducción en la disipación del calor por sudoración y evaporación (Renaudeau, 2005). Según Meyer et al. (2004), estas características están asociadas de forma negativa al consumo de agua. Cuando una alta HR se combina con alta T, se reduce el potencial de disipación de calor, tanto en la piel como en el aparato respiratorio (Berman, 2010), afectando a los animales, particularmente en ambientes en

los que la disipación de calor por evaporación es crucial para mantener la homeotermia. Cuando la temperatura supera 30 °C, la HR empieza a asumir una función importante en los procesos evaporativos (Richards, 1973). Algunos estudios reportan pérdidas de calor en el animal por medios evaporativos cuando el promedio de HR es de 36% en zonas áridas con alta T (Avendaño-Reyes et al., 2007), sin embargo, una HR superior a 70% es común en zonas tropicales y puede afectar la productividad del ganado (Echeverri et al., 2015).

### **2.7.3. Velocidad del viento**

La velocidad del viento (VV) es muy importante en el desempeño y bienestar productivo de los animales debido a que afecta el ritmo del intercambio del calor entre el animal y el ambiente. Sin embargo, depende de la temperatura del aire, ya que, si la T es de moderada a baja, se incrementarán las pérdidas de calor por un fenómeno combinado de conducción y convección desde la superficie de la piel del animal hacia el aire, a medida que aumenta la VV (Kolkhorst et al., 2002). También depende del estado en que se encuentra la piel del animal, es decir, seca o húmeda. La transferencia de calor es más eficiente cuando la piel está húmeda que cuando está seca. Si existe un gradiente entre la temperatura de la piel y la del ambiente, el movimiento del aire permite la pérdida de calor por convección (Mansilla, 1996). En cambio, si la temperatura del aire es superior a la temperatura de la piel, el animal ganará calor por radiación debido a que temperatura del aire modifica todo lo que rodea (Valtorta et al., 1999).

Por lo tanto, la forma de ganar o perder calor por radiación está relacionada con la superficie corporal de animal, por lo que participan varios factores como color, textura y cobertura de la piel (De Sharzer et al., 2009). La función de la VV, como indicador del EC, ha sido reconocida desde hace mucho tiempo por diversos investigadores (NRC, 1981). Sin embargo, su importancia fue resaltada por Mader et al. (2006), quienes la incluyeron como uno de los factores de ajuste al estimar el ITH para ganado bovino de carne.

#### **2.7.4. Radiación solar**

La radiación solar (RS) es otro de los factores que impacta de forma directa a los animales, es decir, el animal absorbe el calor en forma directa del sol (Silanikove, 2000). Los animales absorben calor por radiación cuando se encuentran expuestos directamente al reflejo de los rayos solares, además de la radiación térmica de la atmósfera y el suelo (Scharf et al., 2011). Sin embargo, la cantidad de calor radiante absorbida por un animal depende no sólo de la temperatura del animal, sino también de su color y textura (Brown-Brandl et al., 2006; Mader et al., 2006). Superficies oscuras absorben más calor que superficies claras en una misma condición ambiental (Kadzere et al., 2002). Un animal con piel negra tendrá una absorbancia de  $1 \text{ W/m}^2$ , mientras que otro con piel roja tendrá absorbancia de  $0.65 \text{ W/m}^2$ , y uno de piel blanca tendrá  $0.37 \text{ W/m}^2$  (Cena y Monteith, 1975). Un estudio realizado en vaquillas confirmó que razas con piel oscura presentan mayores tasas de respiración, jadeo y temperatura superficial que razas de piel clara (Brown-Brandl et al., 2006). Otros estudios mencionan que la RS tiene un impacto negativo directo en la temperatura rectal y en la tasa de respiración (Collier et al., 2006).

#### **2.7.5. Índices bioclimáticos**

En los últimos 150 años se han desarrollado más de 100 índices bioclimáticos (IBT) que incluyen aspectos psicológicos y fisiológicos en seres humanos. Contrariamente, no más de 10 índices han sido desarrollados para animales en los últimos 50 años, cuyo objetivo principal es proporcionar un manejo medioambiental adecuado basado en la respuesta productiva, salud y bienestar (Hahn et al., 2009). De hecho, el índice más común utilizado en producción animal es índice temperatura-humedad (ITH por sus siglas en español; Arias et al., 2010). De acuerdo con McDowell et al. (1972), el ITH se considera el mejor parámetro climático para describir el EC en los animales. Este índice fue desarrollado por Thom en 1959 para identificar el nivel de estrés en humanos, para posteriormente ser extendido a animales (Hahn, 1999), y desde entonces ha sido ampliamente utilizado como el indicador principal del EC en ganado (Souza et al., 2010). Es una herramienta muy útil y sencilla para monitorear el ambiente y conocer cuando las condiciones ambientales pueden conducir al estatus de

EC, pudiendo así prevenir sus efectos negativos (Arias et al., 2010). No obstante, existen diversas ecuaciones para estimar el ITH, entre ellos se encuentran el índice utilizado por Marai et al. (2007) en ovinos, los índices utilizados por Bohmanova et al. (2007) para determinar los umbrales del ITH en los cuales la producción de leche comienza a decrecer, y el índice utilizado por Wegner et al. (2014) en cerdos.

A pesar de que el ITH es conocido como instrumento primordial para estimar el confort térmico de los animales a nivel mundial, cuenta con ciertas limitaciones debido a que no toma en cuenta otras variables ambientales importantes tales como la RS y VV. Por ello se han propuesto otros índices ajustados a otras variables climáticas, entre las que se encuentran VV y RS (Mader et al., 2006). Otro más es el índice de carga de calor desarrollado por Gaughan et al. (2008), que incluye los factores de manejo, productivo o de genotipo animal. Un valor no menos importante es la tasa de respiración estimada (TRE). En esta medida se desarrolla una ecuación basada en variables climáticas para estimar la TR y asociarla con las categorías de ITH y el nivel de estrés (Eigenberg et al., 2005, 2010). Por último, estos índices mencionados han sido categorizados por varios investigadores en regiones distintas para identificar las características de las condiciones ambientales en las que se encuentran los animales de acuerdo a su especie, raza y propósito productivo.

Armstrong (1994) identificó como zona de confort en ganado lechero un ITH por debajo de 72 unidades, por lo que valores de ITH por encima de este umbral indican la presencia de EC. Amundson et al. (2006) mencionan que la zona de potencial reproducción para ganado en pastoreo es 68 unidades, ya que observaron una disminución en la tasa de concepción cuando el ITH fue mayor de 73. Otros investigadores lo dividieron en dos categorías: entre 79 y 83 unidades como situación peligrosa, mientras que la clasificación emergencia fue para más de 84 unidades (Huhnke et al., 2001). Sin embargo, no todas las especies responden de manera similar al EC, por lo que cada especie debe tener rangos de ITH distintos. Los ovinos y caprinos son más tolerantes al EC, ya que Khalifa et al. (2005) indican que las ovejas entran en estrés moderado cuando el ITH oscila de 74 a 88 unidades, por lo tanto, las cabras empiezan en estrés moderado a un valor de ITH más alto (78 unidades), sin embargo, el rango de tolerancia es menor que en ovinos (84 unidades). Otros autores

mencionan que el EC inicia en ovinos con ITH entre 80 y 82 unidades (Marai et al., 2006); por el contrario, los monogástricos son más susceptibles a estos gradientes. Pearce et al. (2013a) demostraron en un rango de ITH 79 a 83 unidades, los cerdos se encuentran en estrés severo. Estas escalas son muy importantes para determinar el umbral del estrés por calor en los animales, sin embargo, varían dependiendo de las variables climáticas ajustadas y sus ponderaciones.

Desde punto de vista práctico, la HR y T son las principales variables climáticas que afectan el ITH, sin embargo, algunos índices bioclimáticos se consideran más precisos cuando incluyen la RS y VV. Cuando la RS aumenta a  $100 \text{ W/m}^2$ , el ITH se incrementa 0.68 unidades, mientras que cuando la VV se incrementa en  $1 \text{ m/s}^{-1}$ , se reduce el ITH en 2 unidades (Mader et al., 2006). A pesar de que el ITH ha sido utilizado exitosamente como indicador del riesgo de estrés calórico en animales, el ajuste de dicho índice por la VV y RS mejora su utilidad y precisión (Davis y Mader, 2003).

West (2003) demostró que los factores ambientales, tanto en conjunto como individualmente, determinan la actividad productiva del ganado. Por lo tanto, es necesario considerar alternativas para mitigar su impacto. Otros autores consideran a los índices como herramientas útiles para determinar el grado de EC que pueden presentar los animales en diferentes sistemas productivos durante ciertas horas del día, o para determinados meses del año, ayudando a planificar acciones de manejo para controlar su efecto y con ello, mitigar los impactos en el desempeño productivo y reproductivo (Molina et al., 2015).

## **2.8. Alternativas para mitigar estrés calórico**

Silanikove (2000) propone la construcción de estructuras de sombra en regiones donde la temperatura ambiente y el ITH normalmente exceden los umbrales de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  y 70 unidades, respectivamente. Tanto en ganado de carne como lechero, varios estudios han reportado reducción de la temperatura corporal en animales con acceso a sombra (Gaughan et al., 2004). Las sombras surgen como una alternativa para proteger los animales de la RS y se consideran la modificación básica y más importante de las condiciones ambientales para disminuir el efecto del calor por radiación. Sin embargo la

sombra solo evita el impacto de la RS, no tiene efecto sobre la T ni la HR, por eso es recomendable utilizar la combinación de sombra con ventilación forzada y humedad, lo que se conoce como sistema de enfriamiento, reduciendo el estrés por calor y aumentando la producción (Correa-Calderón et al., 2009).

La tolerancia al calor es un requisito vital para la producción ganadera que se desarrolla en zonas áridas y semi áridas (Alves et al., 2017). Así, la selección de especies y razas que están genéticamente adaptadas a las condiciones difíciles de calor es una forma importante para mitigar los efectos del EC (Hansen, 2004; Brown-Brandl et., 2005). Finalmente, además de la manipulación ambiental y genética, una tercera opción es el manejo nutricional durante el EC (West, 2003). Esta alternativa se basa en la respuesta natural del ganado de reducir de manera voluntaria el consumo de alimento para disminuir el calor metabólico que produce. Por lo tanto, involucra el manejo de las dietas para evitar servir alimento que genera mayor calor metabólico sin interferir en los hábitos naturales de consumo de forraje en las horas más frescas del día, así como el uso de suplementos alimenticios energéticos y proteicos.

Existe otra alternativa que consiste en caracterizar los factores climáticos como estrategia de mitigación de los efectos ambientales (Arias et al., 2010). El efecto de los factores climáticos en el ganado es variable y complejo, ya que condiciona el ambiente en el que los animales viven y se reproducen (Arias et al., 2008). La vulnerabilidad del ganado al EC varía de una región a otra (Arias et al., 2010). Por lo tanto, tener conocimiento sobre el grado de estrés al que están expuestos los animales en cada región puede mejorar la forma de aplicación de las alternativas mencionadas anteriormente. De hecho, los principales esfuerzos de investigación de este siglo sobre esta área se concentran en el desarrollo índices de estrés térmico que permiten identificar los efectos negativos del clima en la productividad y supervivencia del ganado (Hahn, 1999; Marai et al., 2001; Mader et al., 2004; Wersiema et al., 2005; Eingeniberg et al., 2005; Gaughan et al., 2008).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del estudio

La información climática utilizada en este estudio correspondió a diferentes sitios del estado de Baja California, situado al noroeste de México, y abarcó el periodo 2011 - 2015. Esta información se obtuvo de dos zonas del estado: zona valle de Mexicali (zona valle) y zona costa del estado, que incluyó Tijuana y Ensenada. La zona valle se ubica a una altitud de entre 2 y 12 msnm y es caracterizada por temperaturas extremas; en esta región predomina el clima cálido y seco, con elevada variación climática diaria y estacional. Durante el verano, la T promedio máxima puede rebasar 50 °C, principalmente en los meses de julio y agosto; respecto a la estación de invierno, el promedio de T puede estar por debajo de 0 °C en los meses de diciembre y enero (INEGI, 2010). En la zona costa, Tijuana y Ensenada son puertos. Tijuana presenta un clima tipo semi-cálido templado, con verano cálido y T media anual de 17.6 °C. En el caso de Ensenada, tiene un clima seco templado tipo mediterráneo, con verano cálido y se registra una T media anual de 17.2 °C (PEACBC, 2012). Las zonas de estudio se observan en la Figura 1.



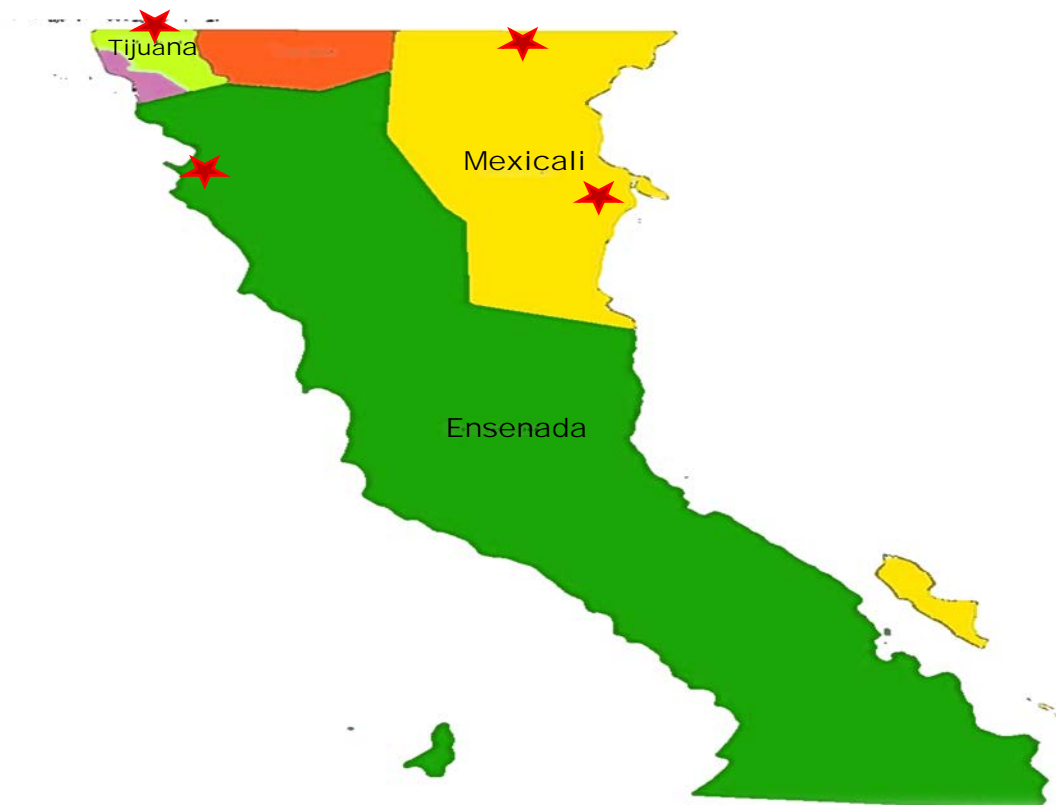


Figura 1. Ilustración de las zonas bajo estudio en el estado de Baja California.

### 3.2. Datos climatológicos

Para caracterizar climáticamente a las zonas valle y costa, se utilizaron datos diarios de T, HR, VV y RS, lo cuales se registraron cada 10 min en cuatro estaciones de tipo ordinario pertenecientes a la Red de Monitoreo Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua en el estado de Baja California. La información original constó de 940, 309 observaciones. Las estaciones seleccionadas fueron las más completas con información climática en el periodo de tiempo señalado (2011-2015), quedando las estaciones del Ejido Nuevo León y de Mexicali (oficinas de CONAGUA), por parte de la zona valle. En la zona costa se incluyó una estación de Tijuana (Presa Abelardo L. Rodríguez) y otra de Ensenada (Presa Emilio López Zamora), las ubicaciones geográficas están mostradas en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas en las dos zonas del estudio

Municipio	Nombre de la estación	Ubicación	
		Latitud norte	Longitud oeste
Mexicali	Ejido Nuevo León	32° 24' 40"	115° 11' 46"
Mexicali	Mexicali (oficinas CONAGUA)	32° 24' 44"	115° 11' 57"
Tijuana	Presa Abelardo L. Rodríguez	32° 26' 00"	116° 52' 00"
Ensenada	Presa Emilio López Zamora	31° 51' 00"	116° 30' 00"

(CONAGUA, 2016)

### 3.3. Compilación de los datos

La información se integró en archivos de hoja de cálculo en el programa Microsoft EXCEL 2016. Una vez integrados estos archivos, se revisó la información con el objeto de identificar los datos faltantes, calidad y coherencia de la información. Después se juntaron los archivos que estaban organizados por meses, para pegarlos en una sola hoja de cálculo de Excel y obtener los archivos por año. La información climática original se registró cada 10 minutos, por lo que se calcularon promedios por hora de todos los datos utilizando en el programa EXCEL 2016. Después se identificaron todas las horas del día de todos los meses del año, de la estación y de la zona, y mediante el mismo programa se obtuvieron las estadísticas básicas por hora en cada mes. Al final se obtuvo un archivo que incluyó los promedios de cinco años por 24 h del día de todos los meses de cada estación, en su respectiva zona. Con los datos anteriores se construyeron cuadros considerando todas las estaciones de todas las zonas que incluyeron la siguiente información:

- Valores máximos de T, HR, VV, RS y los IBT registrados por hora, por mes, por estación, por zona y por época

- Valores promedio de T, HR, VV, RS y los IBT registrados por hora, por mes, por estación, por zona y por época
- Valores mínimos de T, HR, VV, RS y los IBT registrados por hora, por mes, por estación, por zona y por época

### 3.4. Estimación de índices bioclimáticos

Se construyeron cuatro IBT, uno para ganado bovino productor de leche, otro para bovinos productores de carne, otro para ovinos y un cuarto para porcinos. Esto con el fin de estimar el grado del EC y una estimación adicional de la tasa respiratoria (TR). Las fórmulas para la construcción de cada índice fueron:

- 1) Bovinos de leche, ITH propuesto por Hahn (1999):

$$ITH_{\text{leche}} = (0.81 * T) + (HR / 100) * (T - 14.4) + 46.4$$

- 2) Bovinos de carne, índice ajustado a la radiación solar y velocidad del viento propuesto por Mader et al. (2006):

$$ITH_{\text{carne}} = 4.51 + ITH - (1.992 * VV) + (0.0068 * RS)$$

- 3) Ovinos, ITH propuesto por Marai et al. (2001):

$$ITH_{\text{ovino}} = T - \{(0.31 - (0.31 * (HR/100))) * (T - 14.4)\}$$

- 4) Para cerdos, ITH propuesto por NWSCR (1976):

$$ITH_{\text{cerdo}} = [(1.8 * T) + 32] - (0.55 * (HR/100)) * (((1.8 * T) + 32) - 58)$$

Donde T = temperatura del aire; HR = humedad relativa; VV = Velocidad del viento; RS = Radiación solar

La estimación de la TR en ganado de carne se utilizó la siguiente fórmula propuesta Eigenberg et al. (2010):  $TR = ((5.4 * T + 0.58 * HR) - (0.63 * VV + 0.024 * RS) - 110.9)$ .

También se calcularon descriptivos por hora del día, considerando horas luz del día de 10:00 a 17:00 h, mientras que las horas de noche se consideraron de 22:00 a 5:00 h; esto con motivo de identificar la posible recuperación del ganado durante el día, cuando el estrés de la noche fuera menor. De igual forma se calcularon descriptivos por

época del año (fría y cálida), con el objetivo de comparar las dos zonas en cada época. La época de frío consideró los meses de diciembre, enero y febrero, mientras que la época de calor consideró los meses de julio, agosto y septiembre.

### **3.5. Análisis estadístico**

Se calcularon estadísticos descriptivos de las variables climáticas y se comprobó su distribución utilizando los procedimientos MEANS y UNIVARIATE del programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002). Se utilizó un diseño completamente al azar para comparar las medias de las variables climáticas y los índices bioclimáticos. Las comparaciones entre las zonas y las estaciones se hicieron con pruebas "t" student para medias ajustadas usando un nivel de error del 5 % (Steel and Torrie, 1985). Los análisis de medias de las variables se realizaron con el procedimiento GLM usando los comandos PDIFF y STDERR del programa SAS (SAS, 2002).

Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión lineal simple con el objeto de estimar la tendencia de las variables climáticas a través de los años mediante el comando PROC REG, así como un análisis de correlación de Pearson de las variables climáticas mediante el comando PROC CORR, ambos con el programa SAS (SAS, 2002). Se evaluaron los coeficientes de determinación y los valores de probabilidad para inferir sobre los modelos de regresión y en las correlaciones se usó un nivel de error del 5%. Niveles entre 5 y 10% de error se consideraron tendencias en todos los análisis.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Variables climáticas anuales para el estado de Baja California**

La T y HR promedio en el estado de Baja California superaron los 20 °C y 50 %, respectivamente, con valores extremos de radiación solar desde 0.0 a 1027.2 W/m<sup>2</sup>; asimismo, la VV mínima fue de 0.0 y máxima de 26.8 m/s<sup>-1</sup>. Los valores promedios durante el periodo de estudio ITH<sub>leche</sub> e ITH<sub>cerdo</sub> superaron las 60 unidades, mientras que el ITH<sub>carne</sub> estuvo por encima de 50 unidades y el ITH<sub>ovino</sub> superó las 20 unidades (Cuadro 4).

### **4.2. Variables climáticas anuales por zona**

En el cuadro 5 se muestran los estadísticos descriptivos (mínima, máxima, media y desviación estándar) de las variables climáticas y de los IBT por zona en el estado. La HR máxima y promedio más altas (P<0.001), se registraron en la zona costa (97.9 y 65 %, respectivamente). Asimismo, los valores de la VV fueron mayores (P<0.001), en la zona costa. Por otro lado, la temperatura máxima y promedio se registraron en la zona valle (46.3 y 24.7 °C respectivamente). Todos los valores de los IBT (ITH<sub>leche</sub>, ITH<sub>carne</sub>, ITH<sub>ovino</sub>, ITH<sub>cerdo</sub>) estimados fueron mayores (P < 0.001) en la zona valle que en la zona costa.

### **4.3. Variables climáticas por épocas del año**

Las variables climáticas registradas fueron muy variadas entre épocas, la T promedio de la zona valle en la época fría fue de 14.8 °C, mientras en la época cálida fue de 33.3 °C. La VV de la zona costa fue parecida en ambas épocas (fría y cálida) 9.9 vs 9.3 m/s<sup>2</sup> respectivamente, mientras el resto de las variables fueron más altas en la época cálida. Se observó ciertas similitudes de las variables (T, ITH<sub>leche</sub>, ITH<sub>ovino</sub>, ITH<sub>cerdo</sub>) entre zonas (valle y costa) en la época fría, (14.8, 58.0, 14.6, 58.9) vs. (14.5, 58.0, 14.4, 58.3) respectivamente. En cambio, en la época cálida estas variables fueron más altas en la zona valle (Cuadro 6).

**Cuadro 4.** Estadísticos descriptivos generales de las variables climáticas e índices bioclimáticos del norte de Baja California.

<b>Variables</b>	<b>Media ± D.E.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>HR, %</b>	54.6 ± 19.7	2.5	97.9
<b>T, ° C</b>	21.2 ± 7.8	2.1	46.3
<b>RS, W/m<sup>2</sup></b>	498.8 ± 274.0	10.3	1027.2
<b>VV, m/s<sup>-1</sup></b>	7.6 ± 4.8	0.0	26.8
<b>ITH<sub>leche</sub></b>	66.5 ± 9.4	43.3	92.3
<b>ITH<sub>carne</sub></b>	54.4 ± 13.1	7.2	92.8
<b>ITH<sub>ovino</sub></b>	20.0 ± 6.3	5.7	38.7
<b>ITH<sub>cerdo</sub></b>	67.3 ± 11.3	36.7	109.4

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>= (0.81\*T+ [(% de HR/100) \*(T - 14.4)]+46.4; ITH<sub>carne</sub>= 4.51 + THI - 1.992\*VV + 0.0068RS; ITH<sub>ovino</sub>: T °C - {(0, 31 - 0, 31 HR) (T °C - 14.4)}; ITH<sub>cerdo</sub> : [(1.8\*T) +32) -(0.55\*(RH/100)) \*(((1.8\*T) +32)-58]; D.E.: Desviación estándar.

**Cuadro 5.** Media, mínima, máxima y comparaciones entre medias para variables climáticas e índices bioclimáticos de las zonas valle y costa del norte de Baja California.

Variables	Valle			Costa			EEM
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	
HR, %	44.1 <sup>a</sup>	6.8	95.0	65.0 <sup>b</sup>	2.5	97.9	0.3
T, ° C	24.7 <sup>a</sup>	2.2	46.3	17.7 <sup>b</sup>	8.3	30.2	0.2
RS, W/m <sup>2</sup>	504.0 <sup>a</sup>	10.0	1024.5	493.5 <sup>b</sup>	10.0	1027.2	5.6
VV, m/s-1	5.5 <sup>a</sup>	0.0	25.5	9.7 <sup>b</sup>	0.3	26.8	0.1
ITH <sub>leche</sub>	70.2 <sup>a</sup>	43.3	92.3	62.8 <sup>b</sup>	48.6	78.3	0.2
ITH <sub>carne</sub>	62.2 <sup>a</sup>	18.3	90.4	46.7 <sup>b</sup>	7.2	70.3	0.2
ITH <sub>ovino</sub>	22.7 <sup>a</sup>	5.7	38.7	17.3 <sup>b</sup>	8.2	27.6	0.1
ITH <sub>cerdo</sub>	72.7 <sup>a</sup>	36.7	109.5	62.0 <sup>b</sup>	50.5	79.2	0.2

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>=  $(0.81 \cdot T + [(\% \text{ de HR}/100) \cdot (T - 14.4)] + 46.4$ ; ITH<sub>carne</sub>=  $4.51 + \text{THI} - 1.992 \cdot \text{VV} + 0.0068 \text{RS}$ ; ITH<sub>ovino</sub>:  $T \text{ °C} - \{(0, 31 - 0, 31 \text{ HR}) (T \text{ °C} - 14.4)\}$ ; ITH<sub>cerdo</sub>:  $[(1.8 \cdot T) + 32] - (0.55 \cdot (\text{RH}/100)) \cdot (((1.8 \cdot T) + 32) - 58]$ ; EEM: Error estándar de la media; <sup>a, b</sup> Medias con distinta literal indican diferencia significativa a  $P < 0.05$ .

**Cuadro 6.** Estadísticos descriptivos de variables climáticas e índices bioclimáticos por épocas del año en las dos zonas de estudio.

Variables	Época fría						Época cálida					
	Costa			Valle			Costa			Valle		
	Máx	Mín	Media ± D.E.	Máx	Mín	Media ± D.E.	Máx	Mín	Media ± D.E.	Máx	Mín	Media ± D.E.
HR, %	87.1	24.3	58.9±13.8	87.9	6.8	49.2±17.7	97.9	11.3	70.5±15.3	79.9	16.4	46.0±16.3
T, ° C	23.2	8.3	14.5±3.4	26.5	2.2	14.8± 4.9	30.2	8.4	21.4±3.8	46.3	23.2	33.3±5.0
RS, W/m2	865.5	10.0	356±221.7	745.0	10.0	321±205.6	1027.2	12.4	548.7±282.7	1024.0	23.0	554.1±247.7
VV, m/s-1	18.9	4.9	9.9±2.8	19.5	0.0	4.8±3.3	26.8	0.3	9.3±4.8	16.3	1.8	8.9±3.5
ITH <sub>leche</sub>	69.7	49.1	58.0± 4.6	74.0	43.3	58.0± 6.3	78.3	48.6	68.4±5.0	92.3	71.4	81.5± 4.6
ITH <sub>carne</sub>	58.7	25.4	41.8±5.3	75.3	18.3	52.3±8.0	70.3	7.2	52.8±9.8	92.8	48.5	74.4±10.5
ITH <sub>ovino</sub>	21.4	9.0	14.4±2.9	24.6	5.6	14.6± 4.1	27.6	8.8	20.7±3.2	38.7	22.5	30.0± 3.5
ITH <sub>cerdo</sub>	71.4	50.7	58.3± 4.3	76.9	36.7	58.9± 6.7	79.2	50.5	65.9±5.2	109.5	66.8	84.0± 9.1

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>= (0.81\*T+ [(% de HR/100) \*(T - 14.4)]+46.4; ITH<sub>carne</sub>= 4.51 + THI - 1.992\*VV + 0.0068RS; ITH<sub>ovino</sub>: T °C - {(0, 31 - 0, 31 HR) (T °C - 14.4)}; ITH<sub>cerdo</sub> : [(1.8\*T) +32) -(0.55\*(RH/100)) \*(((1.8\*T) +32)-58)]; D.E.: Desviación estándar

Max: Máximo; Min: Mínimo



#### 4.4. Variables climáticas por estación climática

Los valores mínimos, máximos y promedios de las cuatro estaciones climáticas se presentan en el Cuadro 7. La HR máxima y promedio más altas correspondieron a la estación de Tijuana, mientras que la mínima se registro en la estación de Ensenada. En la estación de Mexicali se registró la temperatura máxima (46.3 °C) y el promedio más alto (25 °C), así como también la temperatura mínima (2.2 °C). La máxima VV se registró en la estación de Ensenada con 26.8 m/s y la mínima en la estación Ejido Nuevo León y Mexicali con 0.0 m/s. La RS máxima se observó en Ensenada (1027.2 W/m<sup>2</sup>), mientras que el valor promedio más alto en Mexicali con 553.0 W/m<sup>2</sup>. Los valores máximos de ITH<sub>leche</sub> e ITH<sub>carne</sub> fueron registrados en la estación Nuevo León 92.3 y 90.4 unidades, respectivamente, mientras que los ITH<sub>ovino</sub> e ITH<sub>cerdo</sub> máximos fueron mayores en la estación de Mexicali con 38.7 y 109.5 unidades, respectivamente.

Dentro de la zona valle, las variables HR, VV, RS, ITH<sub>leche</sub>, ITH<sub>carne</sub> e ITH<sub>cerdo</sub> fueron mayores ( $P < 0.001$ ) en la estación Mexicali que la del Ejido Nuevo León (Cuadro 8), mientras la T e ITH<sub>ovino</sub> resultó similar en ambas estaciones ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, para las estaciones de Ensenada y Tijuana de la zona costa, solamente la HR resultó ser similar ( $P > 0.05$ ), mientras la VV fue mayor ( $P < 0.001$ ) para estación de Ensenada, ya que las demás variables fueron más altas la estación de Tijuana ( $P < 0.001$ ).

**Cuadro 7.** Media, mínima, máxima y desviación estándar de variables climáticas por estaciones climáticas e IBTs.

Estaciones	HR, %	T ° C	RS, W/m <sup>2</sup>	VV, m/s <sup>-1</sup>	ITHleche	ITHcarne	ITHovino	ITHcerdo
<b>Mexicali</b>								
<b>Media ±D.E.</b>	32.2 ± 11.43	25 ± 8.4	553 ± 276.3	8.6 ± 4	69.5 ± 9	55.2 ± 10.2	22.6 ± 6.5	74.1 ± 13.1
<b>Mín.</b>	6.9	2.2	10.0	0.0	47.3	18.31	5.7	36.7
<b>Máx.</b>	66.8	46.2	1024.5	25.5	91.3	82.02	38.7	109.5
<b>Nuevo León</b>								
<b>Media ± D.E.</b>	57.1 ± 15.1	24.4 ± 9.5	455.0 ± 141.4	2.2 ± 1.3	71.0 ± 12.2	69.8 ± 11.2	22.8 ± 7.9	71.2 ± 12.8
<b>Mín.</b>	25.3	5.0	10.0	0.0	43.3	30.0	5.7	47.7
<b>Máx.</b>	95.0	44.5	908.0	17.9	92.3	90.4	37.9	103.3
<b>Tijuana</b>								
<b>Media ± D.E.</b>	65.2 ± 17	18.1 ± 4.7	479.1 ± 270.7	9.2 ± 3.4	63.18 ± 6.5	47.8 ± 7.9	17.6 ± 4.1	62.6 ± 6
<b>Mín.</b>	24.3	9.0	10.0	1.0	50.2	29.2	9.6	51.70
<b>Máx.</b>	97.9	30.2	1011.3	18.1	78.2	70.3	27.6	79.2
<b>Ensenada</b>								
<b>Media ± D.E.</b>	64.9 ± 13.4	17.4 ± 4	507.9 ± 288.2	10.1 ± 4.9	62.4 ± 5.8	45.6 ± 9.9	17.1 ± 3.5	61.4 ± 4.7
<b>Mín.</b>	2.5	8.3	10.0	0.3	48.6	7.2	8.8	50.5
<b>Máx.</b>	93.0	27.0	1027.2	26.9	75.4	66.6	25.3	73.70

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITHleche= (0.81\*T+ [(% de HR/100) \*(T - 14.4)]+46.4; ITHcarne= 4.51 + THI - 1.992\*VV + 0.0068RS; ITHovino: T °C - {(0, 31 - 0, 31 HR) (T °C - 14.4)}; ITHcerdo : [(1.8\*T) +32) -(0.55\*(RH/100)) \*((1.8\*T) +32)-58]; D.E.: Desviación estándar; Mín: Mínimo; Máx: Máximo

**Cuadro 8.** Comparaciones de medias de las variables climatológicas en las estaciones bajo estudio dentro de cada zona.

Variables	Valle				Costa			
	Mexicali	Nuevo León	EEM	Valor de P	Ensenada	Tijuana	EEM	Valor de P
HR, %	32.2	57.1	0.4	<.0001	64.8	65.2	0.4	0.593
T, ° C	25.0	24.4	0.2	0.0606	17.4	18.1	0.2	0.0060
RS, W/m <sup>2</sup>	553.0	455.0	7.4	<.0001	507.9	479.1	7.4	<.0001
VV, m/s <sup>-1</sup>	8.6	2.2	0.1	<.0001	10.1	9.2	0.1	<.0001
ITH <sub>leche</sub>	69.5	71.0	0.2	<.0001	62.4	63.2	0.2	0.0221
ITH <sub>carne</sub>	55.2	71.2	0.3	<.0001	45.6	47.9	0.3	<.0001
ITH <sub>ovino</sub>	22.6	22.8	0.2	0.3006	17.0	17.6	0.2	0.0109
ITH <sub>cerdo</sub>	74.1	71.2	0.2	<.0001	61.4	62.6	0.2	0.0021

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>= (0.81\*T+ [(% de HR/100) \*(T – 14.4)]+46.4; ITH<sub>carne</sub>= 4.51 + THI – 1.992\*VV + 0.0068RS; ITH<sub>ovino</sub>: T °C - {(0, 31 - 0, 31 HR) (T °C - 14.4)}; ITH<sub>cerdo</sub> : [(1.8\*T) +32) -(0.55\*(RH/100)) \*((1.8\*T) +32)-58]; EEM: Error estándar de la media; Valor de P nivel significancia a (P<0.05)

## 4.5. Variables climáticas e IBT por meses del año

### 4.5.1. Índices bioclimáticos

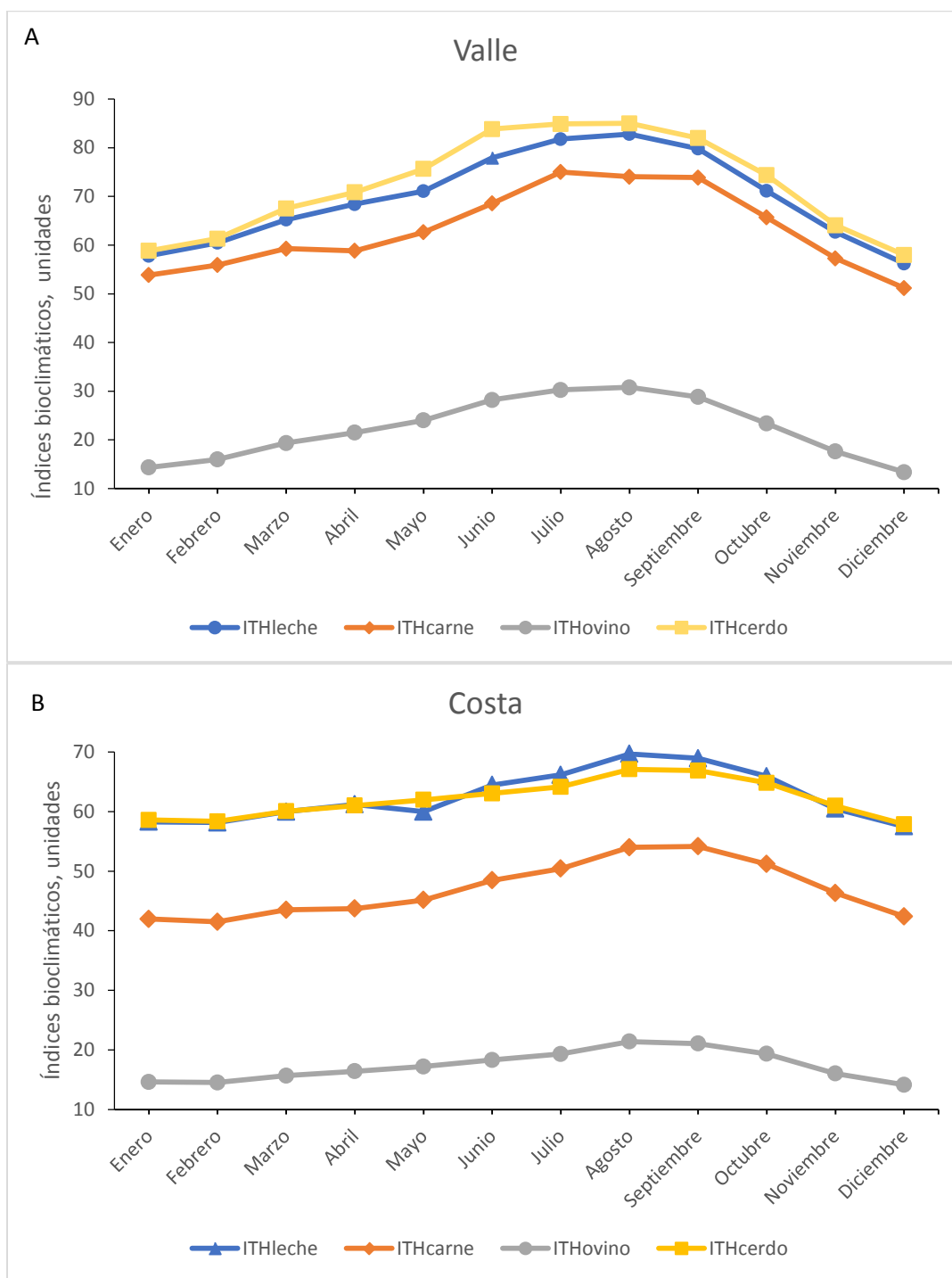
Los valores más altos de IBT oscilaron entre los meses de junio a septiembre y los más bajos de diciembre a febrero, siendo el mes de agosto con el promedio más alto de ITH para el ganado de leche (83 unidades), ovino (31 unidades) y cerdo (85 unidades). Asimismo, el  $ITH_{carne}$  se presentó en julio (75 unidades) para la zona valle (Figura 2A). Para la zona costa, los valores más altos se presentaron en agosto y septiembre para todos los IBTs, por lo tanto, los más bajos se presentaron en diciembre en ambas zonas (Figura 2B).

### 4.5.2. Temperatura y humedad relativa

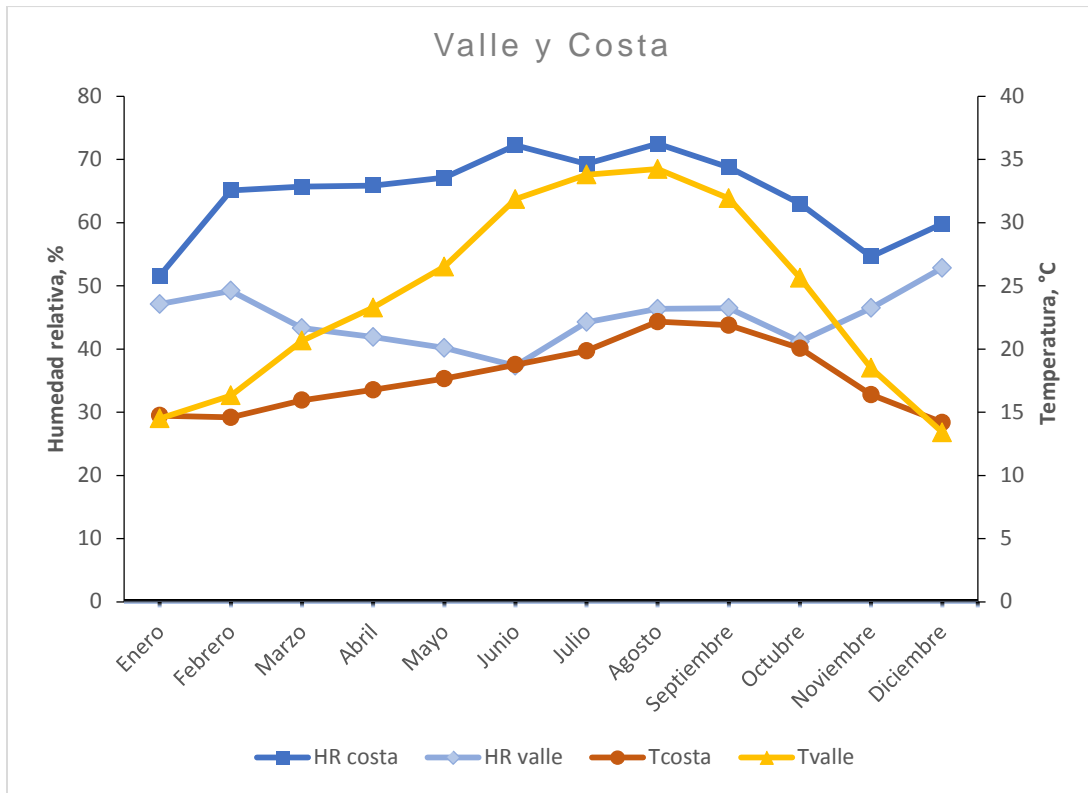
El promedio de T más alto para la zona valle correspondió al mes de agosto con 34.2 °C, mientras que para la zona costa fue de 22.2 °C. La T mínima se registró en diciembre para ambas zonas (Figura 3). Sin embargo, se observó que la HR en la zona valle tendió a incrementar en los meses de más frío (> 50 %) y disminuyó cuando aumentó la temperatura (diciembre, enero y febrero vs julio, agosto y septiembre) mientras que para la zona costa tendió a ser estable en la mayoría de los meses.

### 4.5.3. Radiación solar y la velocidad del viento

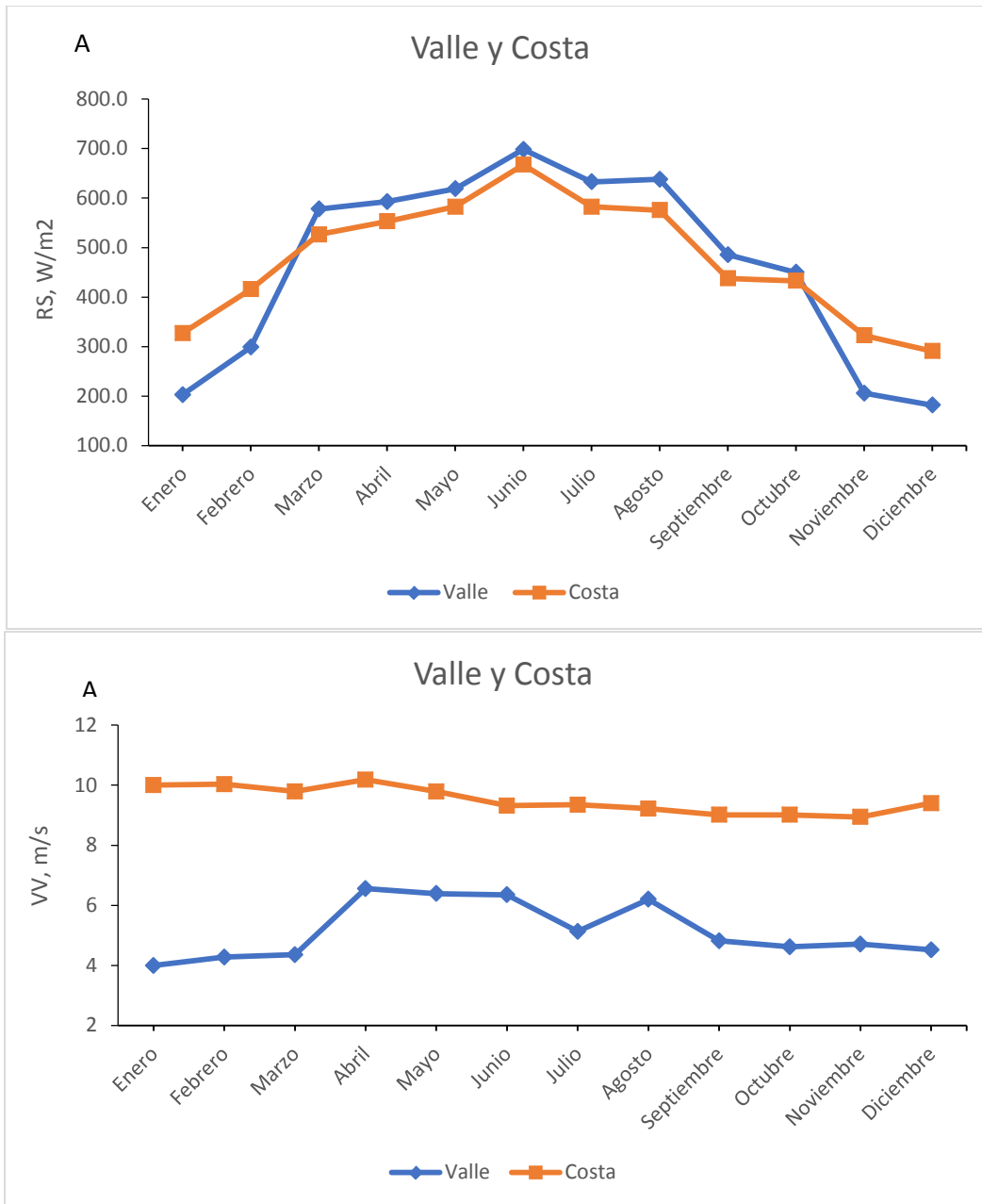
La mayor RS se observó en junio para ambas zonas, siendo en el valle de 698.1 W/m<sup>2</sup> y en la costa de 667.5 W/m<sup>2</sup>. La menor RS se registró en diciembre tanto en la zona valle como costa (182.0 vs 291.0 W/m<sup>2</sup>). La VV más alta en la zona valle abarcó los meses abril a agosto con un rango de 5.1 a 6.6 m/s, mientras para la zona costa se encontró entre los meses de enero a abril con un rango de 9.8 a 10.2 m/s y se estabiliza en resto de los meses (Figura 4A y 4B).



**Figura 2.** Promedio mensual de índices bioclimáticos en la zona valle y costa del norte de Baja California.



**Figura 3.** Promedios mensuales de humedad relativa (HR) y temperatura ambiental (T) de la zona valle y costa del norte de Baja California.



**Figura 4.** Promedio de radiación solar (RS) y velocidad del viento (VV) por mes en cada zona del norte de Baja California.

## 4.6. Variables climáticas e índices bioclimáticos durante el verano

### 4.6.1. En el estado

En el periodo de estudio, el norte del estado de BC tuvo una T media de 27 °C durante el verano y HR de 56.9%. El  $ITH_{leche}$  y  $ITH_{cerdo}$  promedio en el verano superó las 70 unidades, mientras que el  $ITH_{carne}$  alcanzó 60 unidades (Cuadro 9); asimismo, el  $ITH_{ovino}$  estimado fue de 25 unidades.

### 4.6.2. Por zona

En el Cuadro 10 se encuentran los promedios de las dos zonas de estudio durante el verano. En la zona valle, la HR promedio fue de 43.7%, mientras la T promedio alcanzó los 33.0 °C, sin embargo, en la zona costa la HR promedio alcanzó 70% con una T promedio de 20 °C. Los promedios de IBT ( $ITH_{leche}$ ,  $ITH_{carne}$ ,  $ITH_{ovino}$ ,  $ITH_{cerdo}$ ) fueron mayores ( $P < 0.0001$ ) en la zona valle durante el verano.

### 4.6.3. Índices por meses durante el verano

En la Figura 5 se muestran los promedios de los IBT durante los meses de verano en las dos zonas de estudio. Se observaron valores más altos para todos los meses durante el verano en la zona valle (Figura 5A), con una tendencia a incrementar en agosto en la zona costa (Figura 5B).

### 4.6.4. Variables climáticas por hora del día y la noche en el verano

Con respecto a la oscilación de la hora del día y la noche durante el verano, se observa que casi todas las variables son mayores de día que en la noche, con excepción de la HR para ambas zonas y el  $ITH_{carne}$  solamente en la zona costa. En la zona valle, el  $ITH_{leche}$  observado para el día y la noche fue 80 y 76 unidades, respectivamente; el  $ITH_{cerdo}$  superó las 90 unidades en las horas luz del día y disminuyeron a 75 unidades por las horas de la noche. También el  $ITH_{ovino}$  presentó valores altos en horas luz del día, y también disminuyó en las horas de la noche. Estas variables fueron diferentes estadísticamente entre las dos zonas ( $P < 0.0001$ ) (Cuadro11).



**Cuadro 9.** Media de las variables climatológicas para el norte de Baja California en verano durante 2011 a 2015.

<b>Variables</b>	<b>Media ± D.E.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>HR, %</b>	56.9 ± 21.30	8.4	97.9
<b>T, ° C</b>	27.0 ± 7.6	8.4	46.3
<b>RS, W/m<sup>2</sup></b>	516.6 ± 212.1	23.0	1027.2
<b>VV, m/s<sup>-1</sup></b>	7.4 ± 5.0	0.3	26.8
<b>ITH<sub>leche</sub></b>	74.2 ± 8.3	48.6	92.3
<b>ITH<sub>carne</sub></b>	62.2 ± 14.9	7.2	91.3
<b>ITH<sub>ovino</sub></b>	24.9 ± 5.9	8.8	38.7
<b>ITH<sub>cerdo</sub></b>	74.8 ± 12.1	50.5	109.6

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>= (0.81\*T+ [(% de HR/100) \*(T - 14.4)]+46.4; ITH<sub>carne</sub>= 4.51 + THI - 1.992\*VV + 0.0068RS; ITH<sub>ovino</sub>: T °C - {(0, 31 - 0, 31 HR) (T °C - 14.4)}; ITH<sub>cerdo</sub> : [(1.8\*T) +32] - (0.55\*(RH/100)) \*(((1.8\*T) +32)-58]; D.E.: Desviación estándar.

**Cuadro 10.** Medias de variables climáticas e índices bioclimáticos en las dos zonas de estudio durante el verano

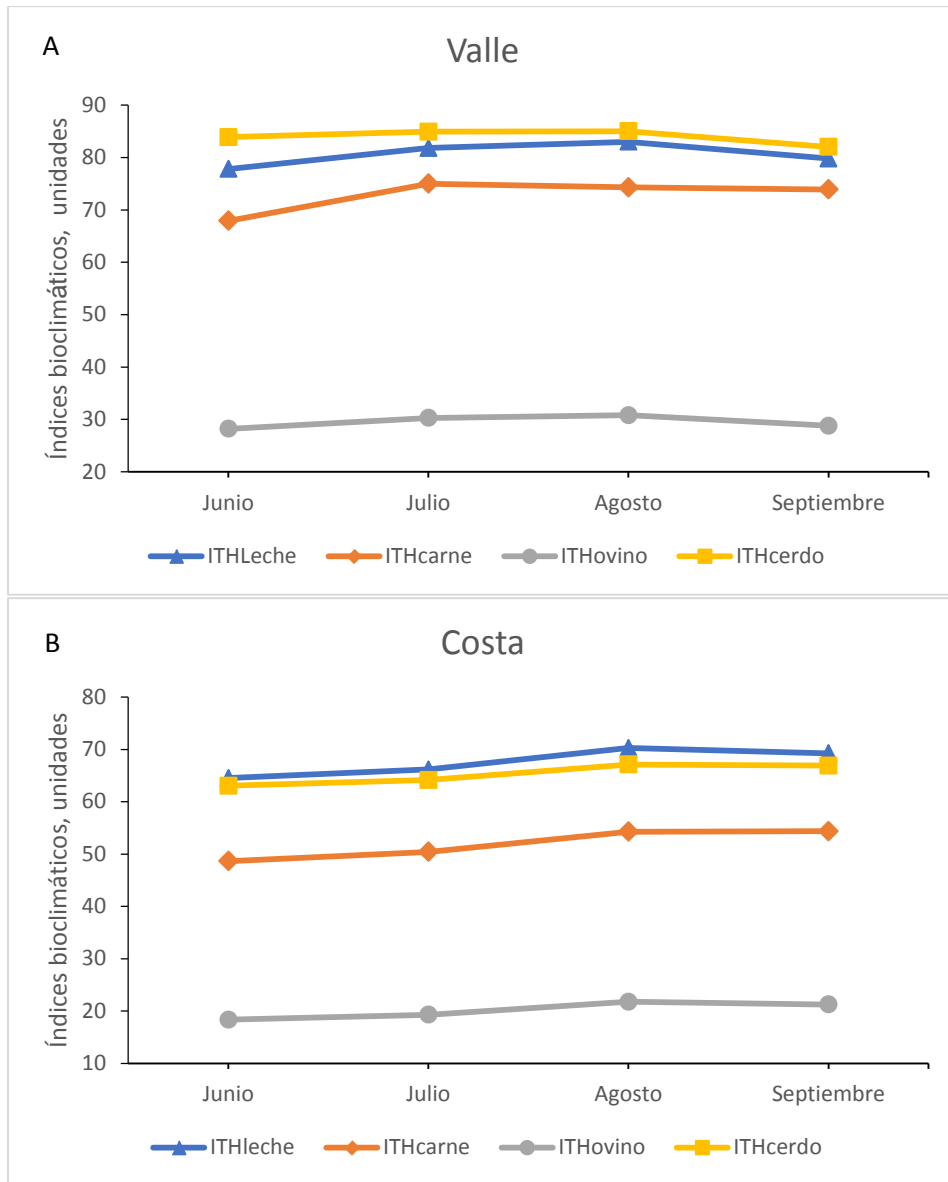
Variables	Valle	Costa	EEM	Valor de P
HR, %	43.7	70.9	0.5	<.0001
T, ° C	33.0	20.8	0.2	<.0001
RS, W/m <sup>2</sup>	587.8	445.3	10.4	<.0001
VV, m/s <sup>-1</sup>	5.6	9.3	0.2	<.0001
ITH <sub>leche</sub>	80.6	67.4	0.2	<.0001
ITH <sub>carne</sub>	72.9	51.8	0.1	<.0001
ITH <sub>ovino</sub>	29.5	20.1	0.4	<.0001
ITH <sub>cerdo</sub>	83.9	65.2	0.3	<.0001

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento;

ITH<sub>leche</sub>=  $(0.81 * T + [(\% \text{ de HR}/100) * (T - 14.4)] + 46.4)$ ; ITH<sub>carne</sub>=  $4.51 + THl - 1.992 * VV + 0.0068RS$ ;

ITH<sub>ovino</sub>:  $T \text{ °C} - \{(0, 31 - 0, 31 \text{ HR}) (T \text{ °C} - 14.4)\}$ ; ITH<sub>cerdo</sub> :  $[(1.8 * T) + 32] - (0.55 * (RH/100)) * (((1.8 * T) + 32) - 58)$ ;

EEM: Error estándar de la media; Valor de P nivel significancia a ( $P < 0.05$ ).



**Figura 5.** Promedios mensuales de los índices bioclimáticos durante los meses de verano en la zona valle y costa del norte de Baja California.

**Cuadro 11.** Medias de variables climáticas e índices bioclimáticos por día y noche en el verano en las zonas costa y valle del norte de Baja California.

Variables	Valle				Costa			
	Día	Noche	EEM	Valor P	Día	Noche	EEM	Valor P
HR, %	31.1	55.1	0.7	<.0001	58.1	81.9	0.7	<.0001
T, ° C	38.8	27.8	0.2	<.0001	23.8	18.3	0.2	<.0001
RS, W/m <sup>2</sup>	612.4	5.2	13.3	<.0001	550.8	2.0	13.6	<.0001
VV, m/s <sup>-1</sup>	6.4	4.8	0.2	<.0001	13.6	6.1	0.2	<.0001
ITH <sub>leche</sub>	85.4	76.1	0.2	<.0001	70.9	64.4	0.2	<.0001
ITH <sub>carne</sub>	75.0	71.0	0.6	<.0001	44.5	56.8	0.6	<.0001
ITH <sub>ovino</sub>	33.6	25.9	0.1	<.0001	22.5	18.1	0.1	<.0001
ITH <sub>cerdo</sub>	94.3	75.0	0.2	<.0001	69.7	61.7	0.2	<.0001

HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITH<sub>leche</sub>=  $(0.81 \cdot T + [(\% \text{ de HR}/100) \cdot (T - 14.4)] + 46.4)$ ; ITH<sub>carne</sub>=  $4.51 + \text{THI} - 1.992 \cdot \text{VV} + 0.0068 \text{RS}$ ; ITH<sub>ovino</sub>:  $T \text{ °C} - \{(0, 31 - 0, 31 \text{ HR}) (T \text{ °C} - 14.4)\}$ ; ITH<sub>cerdo</sub> :  $[(1.8 \cdot T) + 32] - (0.55 \cdot (\text{RH}/100)) \cdot (((1.8 \cdot T) + 32) - 58)$ ; EEM: Error estándar de la media; Valor de P nivel significancia a (P<0.05).

## 4.7. Tasa respiratoria estimada

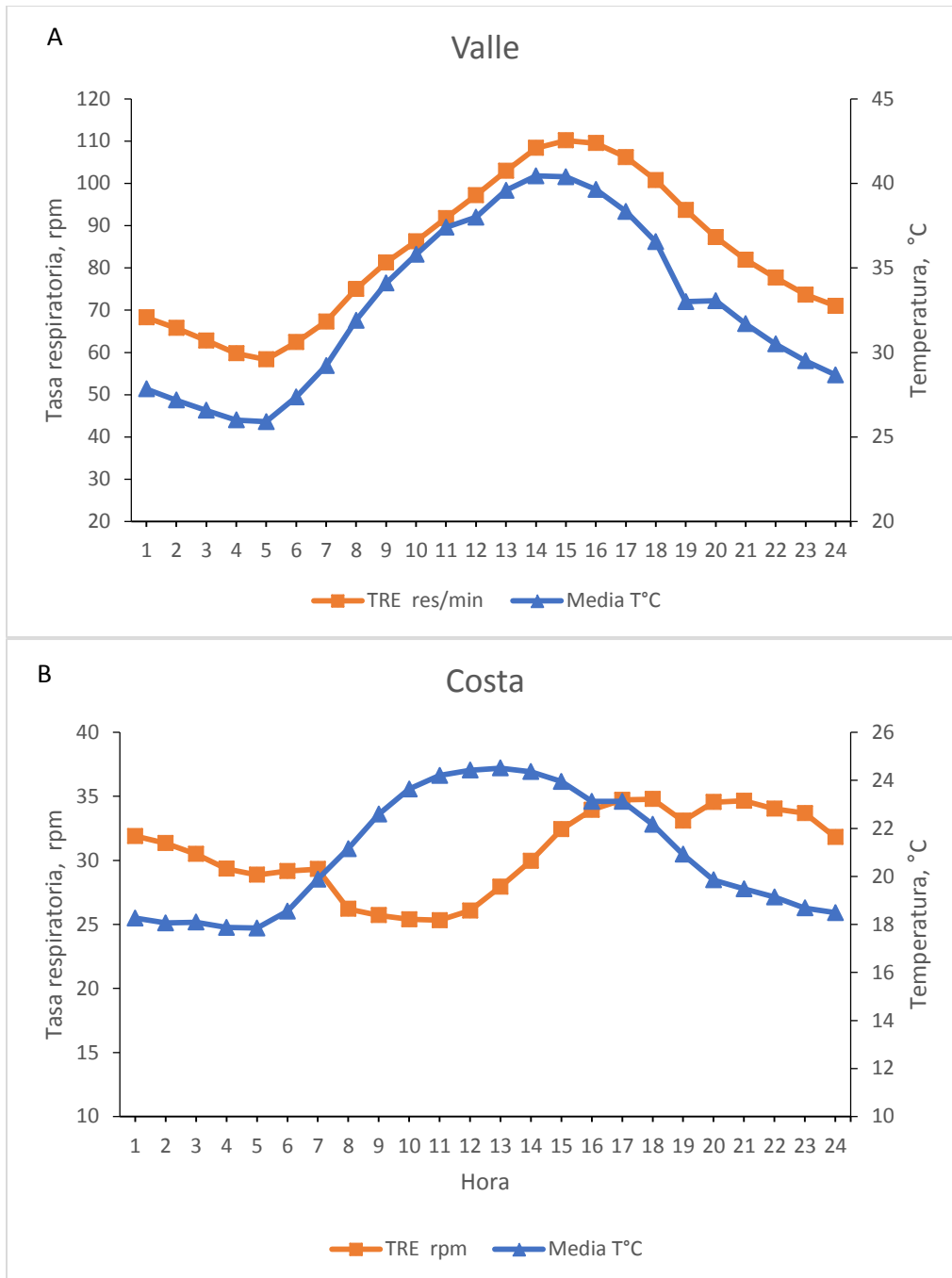
### 4.7.1. Estimación de la tasa respiratoria diurna

En la Figura 6 se muestran los resultados de la TR estimada durante las 24 h del día en la época de verano. Se observa que la TRE más alta se registró entre las 15 y 16 h (110 rpm), lo que coincidió con la T más elevada (40 °C) para la zona valle. En la zona costa se observó valores diferentes, ya que la TR no llegó a 40 rpm y la T a 25 °C.

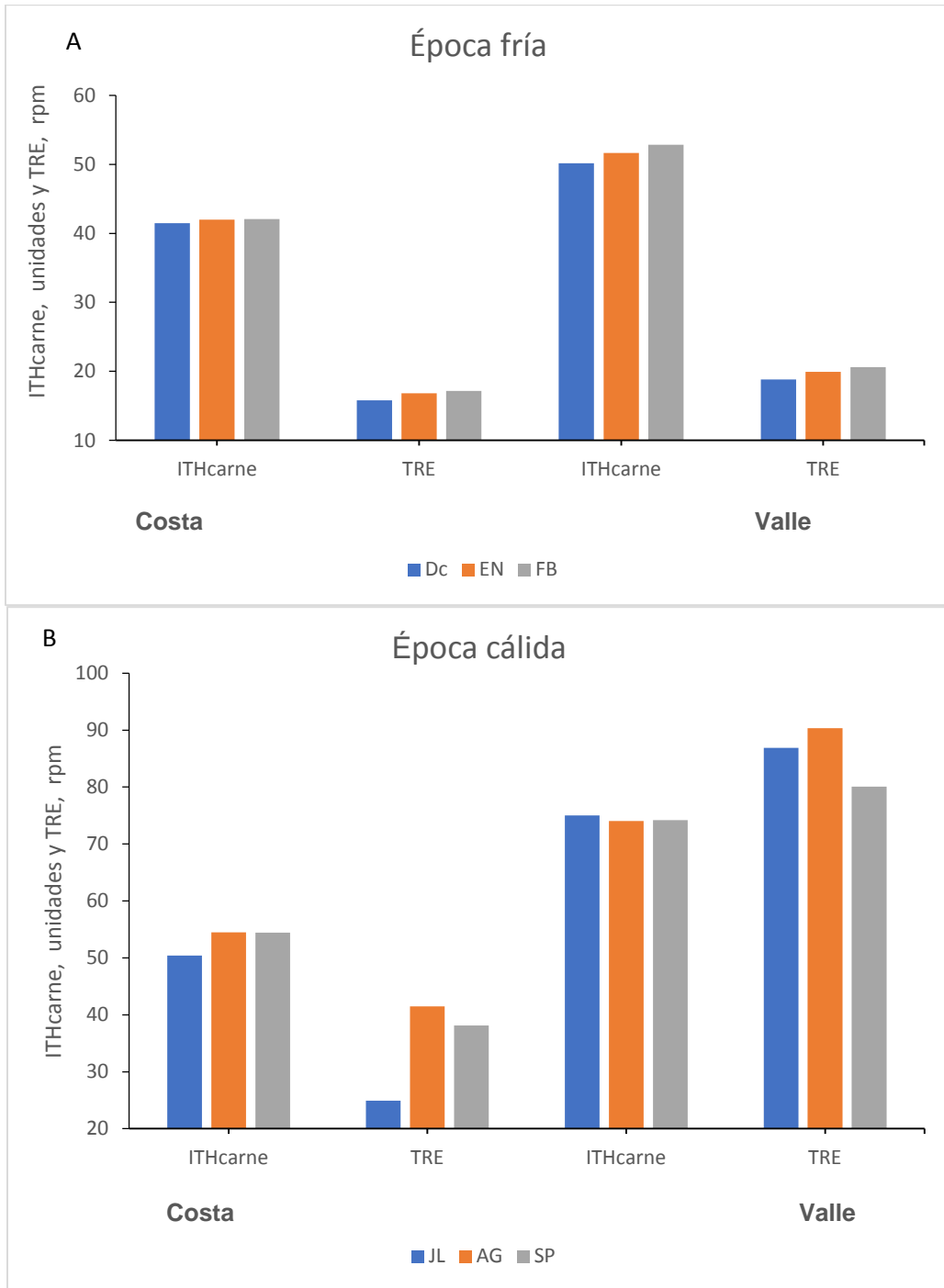
### 4.7.2. Estimación de la tasa respiratoria por época

En la Figura 7 se muestran los resultados de la TRE y el  $ITH_{carne}$  promedio en los meses más frío y calientes en ambas zonas. Como era de esperarse, tanto en la época caliente y fría la zona costa se presentaron menores TRE que en la zona valle. En diciembre fue cuando se registró el menor  $ITH_{carne}$  (50.15 unidades) en la zona valle, mientras que en la zona costa fue de 41.5 unidades. Por otro lado, la TRE fue mayor en agosto para la zona valle y costa (90.36 y 41.38 rpm, respectivamente).

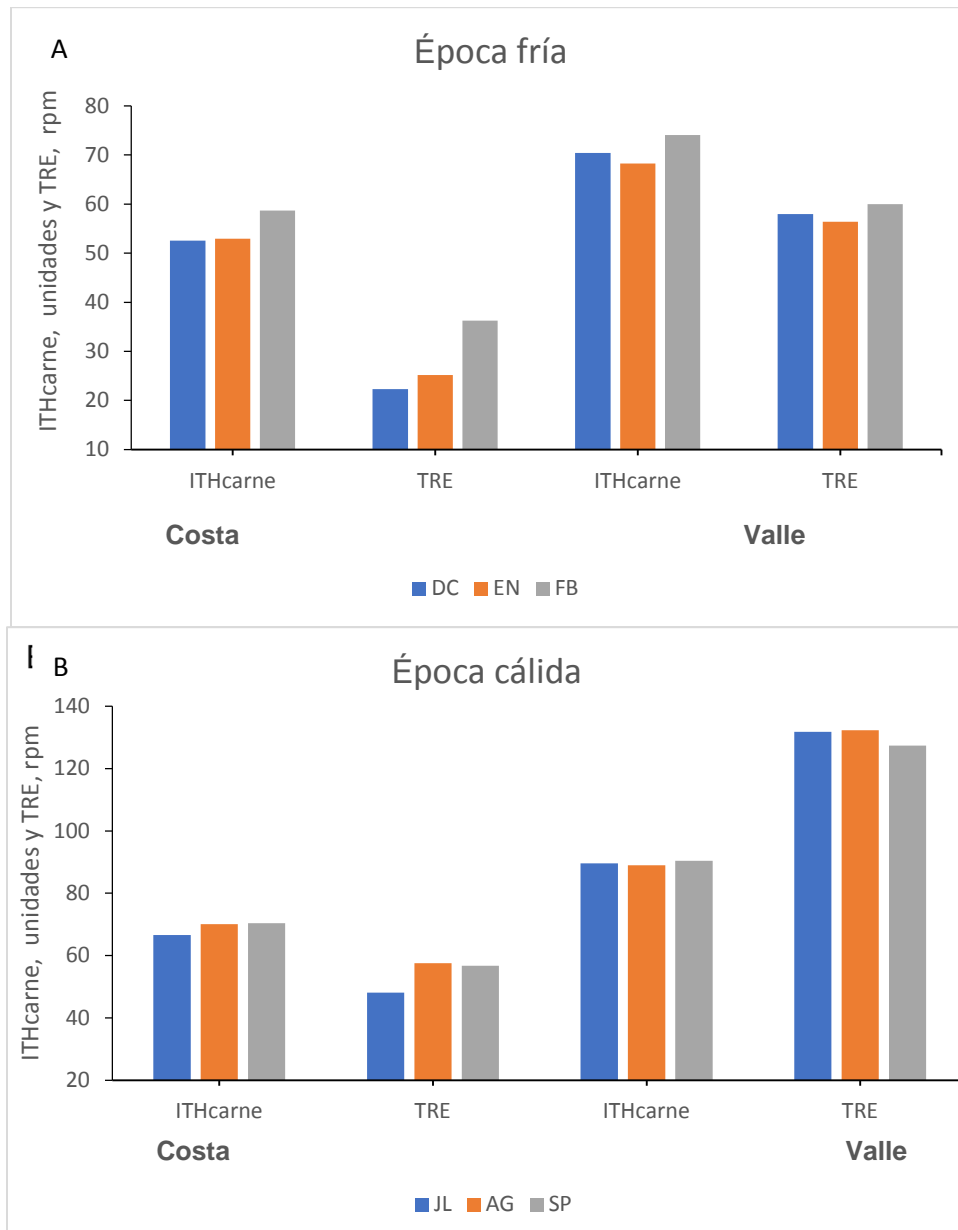
En la Figura 8 se pueden observar los valores máximos de la TRE e  $ITH_{carne}$  para ambas zonas. No se observaron valores máximos de  $ITH_{carne}$  y TRE fuera del rango de termoneutralidad en la época de frío para ambas zonas (Figura 8A). Sin embargo, los valores de TRE máxima sobrepasaron las 130 rpm y el  $ITH_{carne}$  máximo estuvo por encima de 90 unidades para la zona valle en los meses más cálidos. Mientras que en la zona costa, la TRE máxima estuvo por debajo de las 60 rpm y el  $ITH_{carne}$  máximo alcanzó las 70 unidades (Figura 8B).



**Figura 6.** Tasa respiratoria (TRE) y temperatura (T) media durante el verano de las dos zonas bajo estudio del norte de Baja California.



**Figura 7.** Tasa respiratoria (TRE) e ITH<sub>carne</sub> promedio de los meses más fríos y cálidos para zona costa y valle del norte de Baja California.



**Figura 8.** Tasa respiratoria (TRE) máxima e  $ITH_{carne}$  máximo de los meses más fríos y cálidos en zona costa y valle del norte de Baja California.



#### 4.8. Correlación de las variables climáticas

En el Cuadro 12 se muestran las correlaciones entre las variables climáticas, la TRE y los IBT. La TRE muestra una relación baja pero significativa con VV para la zona costa ( $r= 0.094$ ;  $P < 0.0001$ ), pero en la zona valle no fue significativa ( $r = -0.03$ ;  $P= 0.10$ ). Asimismo, la TRE no se correlacionó con la RS ( $r=0.02$ ;  $P= 0.12$ ) en la zona costa, sin embargo, en la zona valle si hubo una correlación positiva baja ( $r=0.24$ ;  $P<0.0001$ ) entre estas variables. Todos los IBT mostraron correlaciones más altas con TRE en la zona valle que en la costa. Como era de esperarse, se obtuvo una correlación negativa entre T y HR para ambas zonas, aunque esta relación fue más alta en la zona valle. Es importante destacar que las correlaciones entre T con los IBT fueron altas para ambas zonas. Solamente con el  $ITH_{carne}$  tuvo una correlación baja ( $r = 0.14$ ;  $P <.0001$ ) en la zona costa.

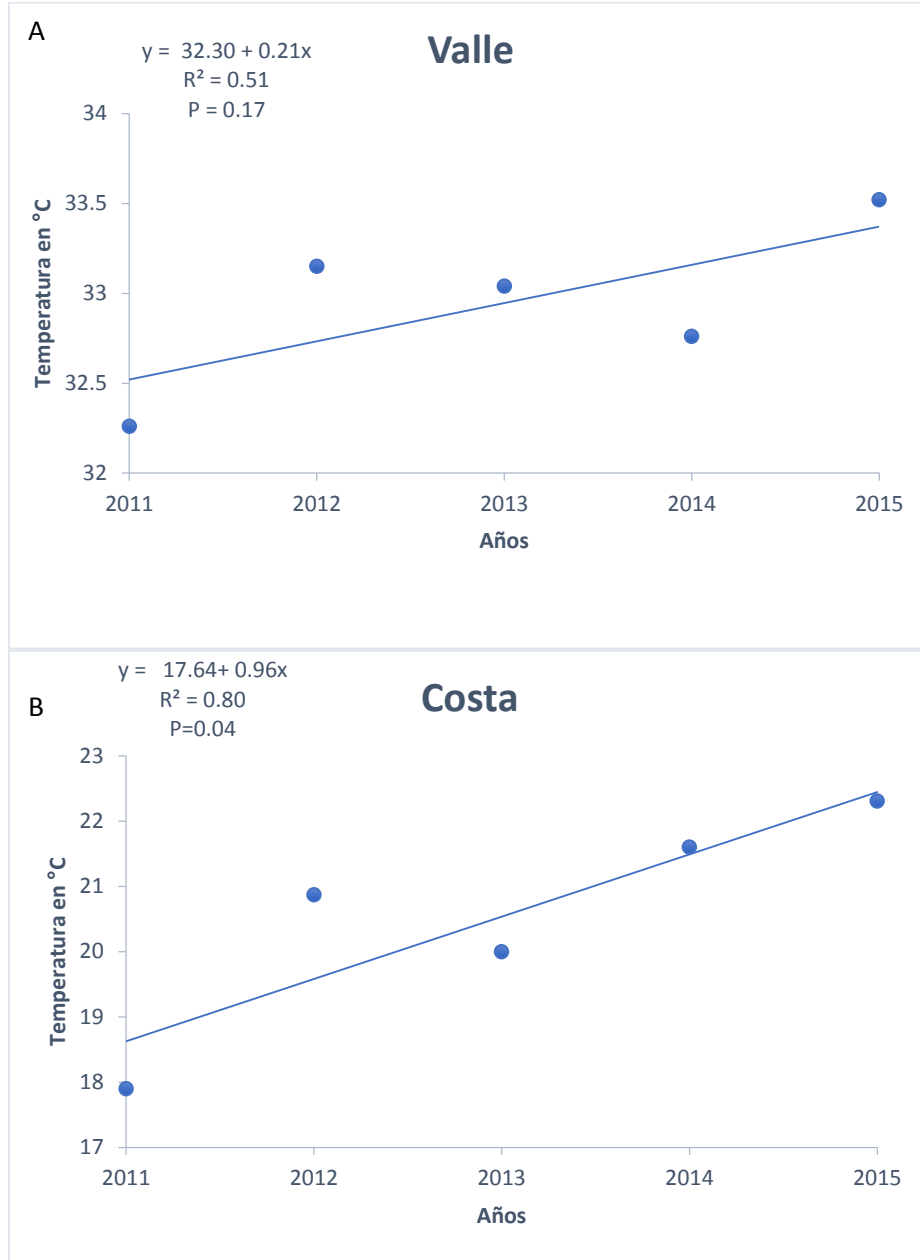
#### 4.9. Regresión de temperatura con IBT por año durante el verano

La Figura 9A y 9B se muestran los análisis de regresión entre la T y el tiempo (años durante el verano), observándose un incremento de  $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$  por año en la T en la zona valle, pero no fue significativo ( $P > 0.05$ ), mientras en la costa el aumento estimado fue de  $0.96\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $P = 0.04$  y  $R^2 = 0.78$ ). Asimismo, tres de los IBT ( $ITH_{leche}$ ,  $ITH_{ovino}$ ,  $ITH_{cerdo}$ ) incrementaron significativamente ( $P=0.046$  y  $R^2 = 0.78$ ;  $P=0.046$  y  $R^2 = 0.78$ ;  $P=0.049$  y  $R^2 = 0.77$ ) en la zona costa (Figuras 10B, 12B y 13B), mientras se observó lo contrario para el  $ITH_{carne}$  (Figura 11B;  $P= 0.12$  y  $R^2 = 0.59$ ). Sin embargo, ninguno de los IBT se asoció ( $P > 0.05$ ) con los años en la zona valle (Figuras 10A, 11A,12A,13A).

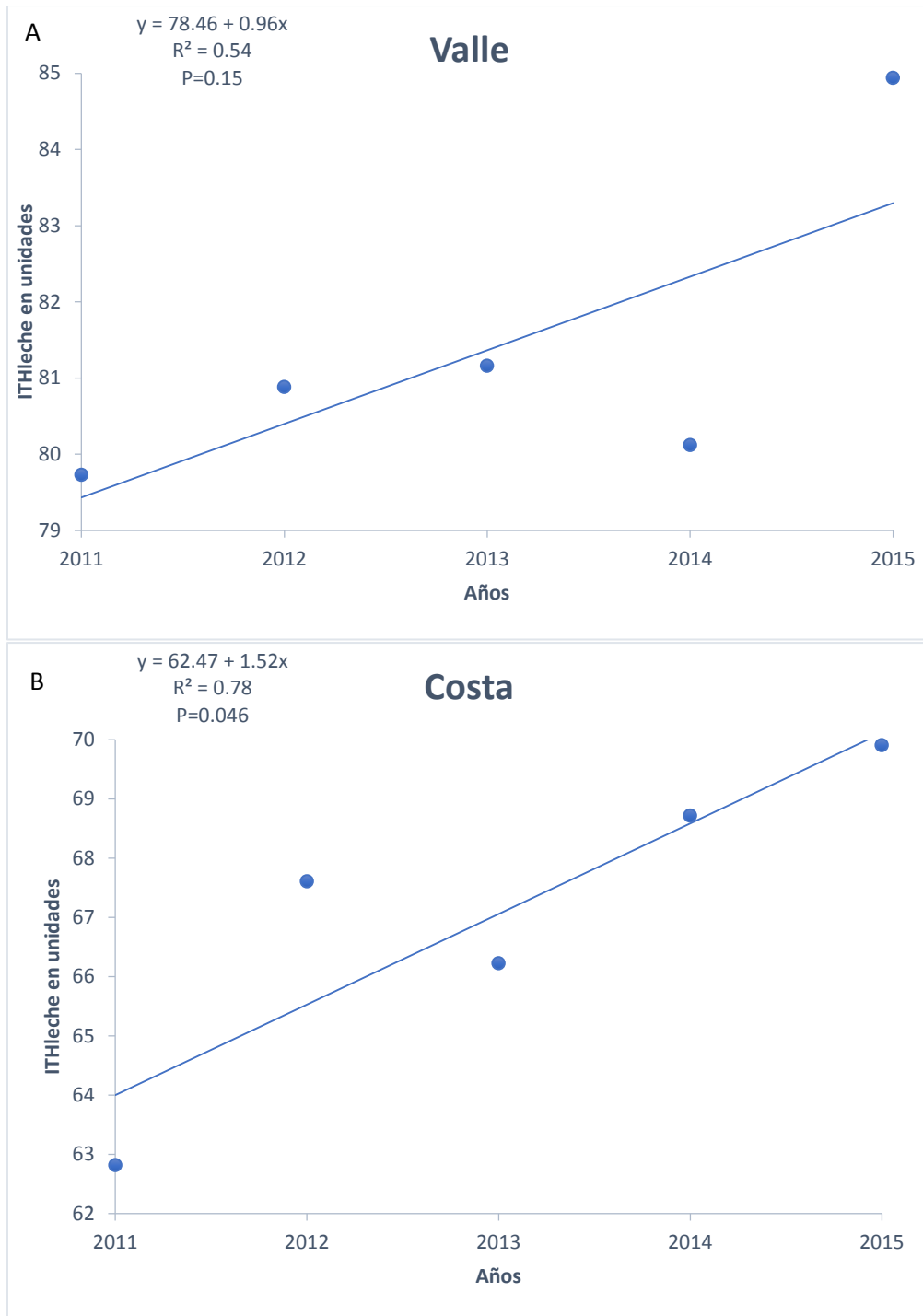
**Cuadro 12.** Correlaciones de Pearson entre temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar e índices bioclimáticos en zonas costa y valle en el norte de Baja California.

Variables	Valle					Costa				
	TRE	VV	T	HR	RS	TRE	VV	T	HR	RS
TRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VV	-0.03 P>0.105	-	-	-	-	-0.094 <.0001	-	-	-	-
T	0.94 <.0001	0.18 <.0001	-	-	-	0.75 <.0001	0.41 <.0001	-	-	-
HR	-0.16 <.0001	-0.63 <.0001	-0.44 <.0001	-	-	0.38 <.0001	-0.56 <.0001	-0.24 <.0001	-	-
RS	0.24 <.0001	0.13 <.0001	0.44 <.0001	-0.35 <.0001	-	0.02 P>0.12	0.59 <.0001	0.59 <.0001	-0.51 <.0001	-
ITHleche	0.97 <.0001	0.08 <.0001	0.97 <.0001	-0.3 <.00011	0.38 <.0001	0.80 <.0001	0.36 <.0001	0.99 <.0001	-0.16 <.0001	0.53 <.0001
ITHcarne	0.78 <.0001	-0.62 <.0001	0.61 <.0001	0.22 <.0001	0.076 <.0001	0.62 <.0001	-0.81 <.0001	0.14 <.0001	0.52 <.0001	-0.41 <.0001
ITHcerdo	0.89 <.0001	0.26 <.0001	0.98 <.0001	-0.54 <.0001	0.47 <.0001	0.68 <.0001	0.46 <.0001	0.98 <.0001	-0.33 <.0001	0.64 <.0001
ITHovino	0.96 <.0001	0.14 <.0001	0.99 <.0001	-0.39 <.0001	0.42 <.0001	0.78 <.0001	0.39 <.0001	0.99 <.0001	-0.20 <.0001	0.56 <.0001

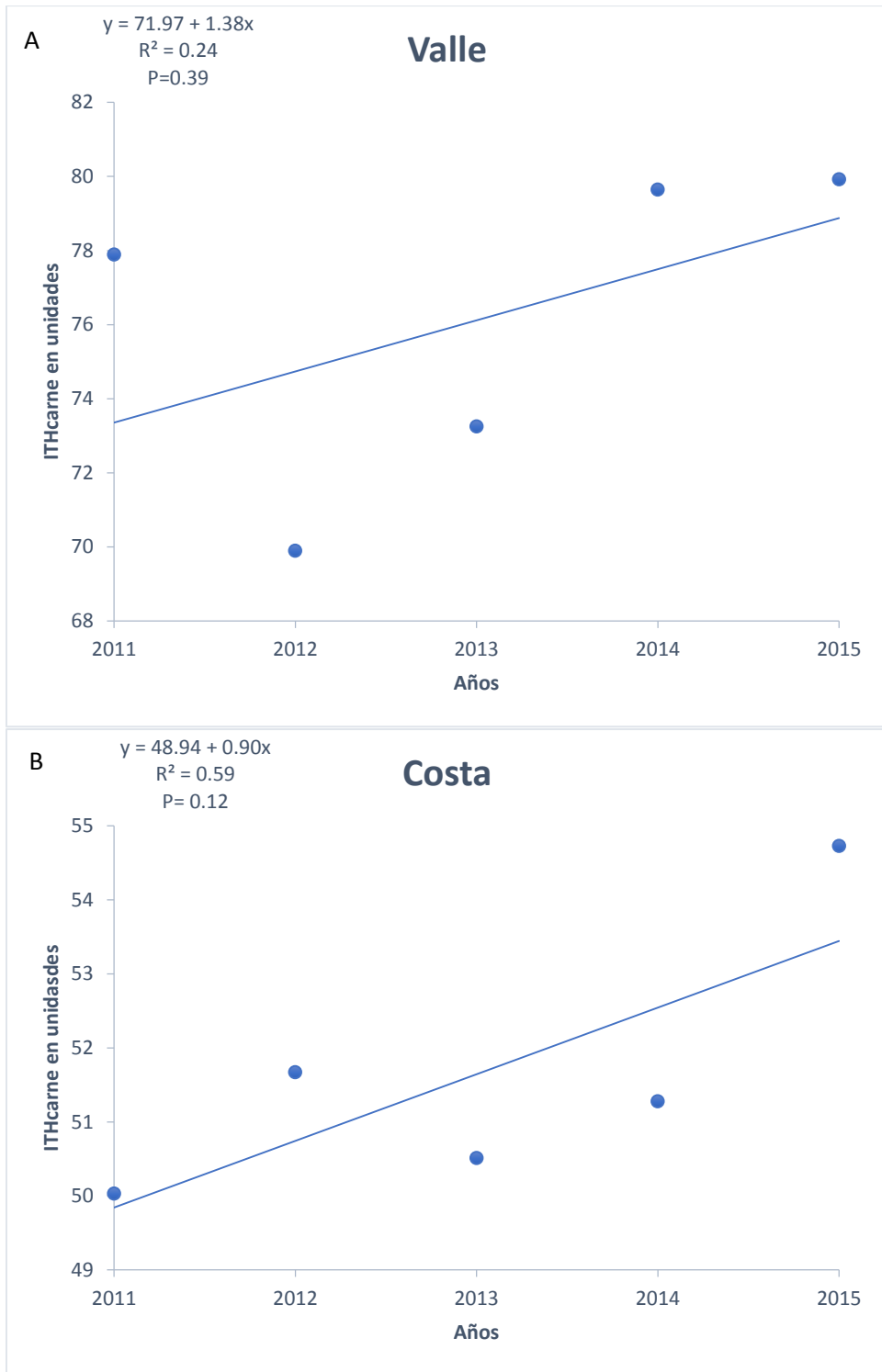
HR: Humedad relativa; T: Temperatura del aire; RS: Radiación solar; VV: Velocidad del viento; ITHleche=  $(0.81 \cdot T + [(\% \text{ de HR}/100) \cdot (T - 14.4)] + 46.4)$ ; ITHcarne=  $4.51 + THl - 1.992 \cdot VV + 0.0068RS$ ; ITHovino:  $T \text{ °C} - \{(0, 31 - 0, 31 \text{ HR}) (T \text{ °C} - 14.4)\}$ ; ITHcerdo :  $[(1.8 \cdot T) + 32] - (0.55 \cdot (RH/100)) \cdot (((1.8 \cdot T) + 32) - 58)$ ; TRE: Tasa respiratoria estimada.



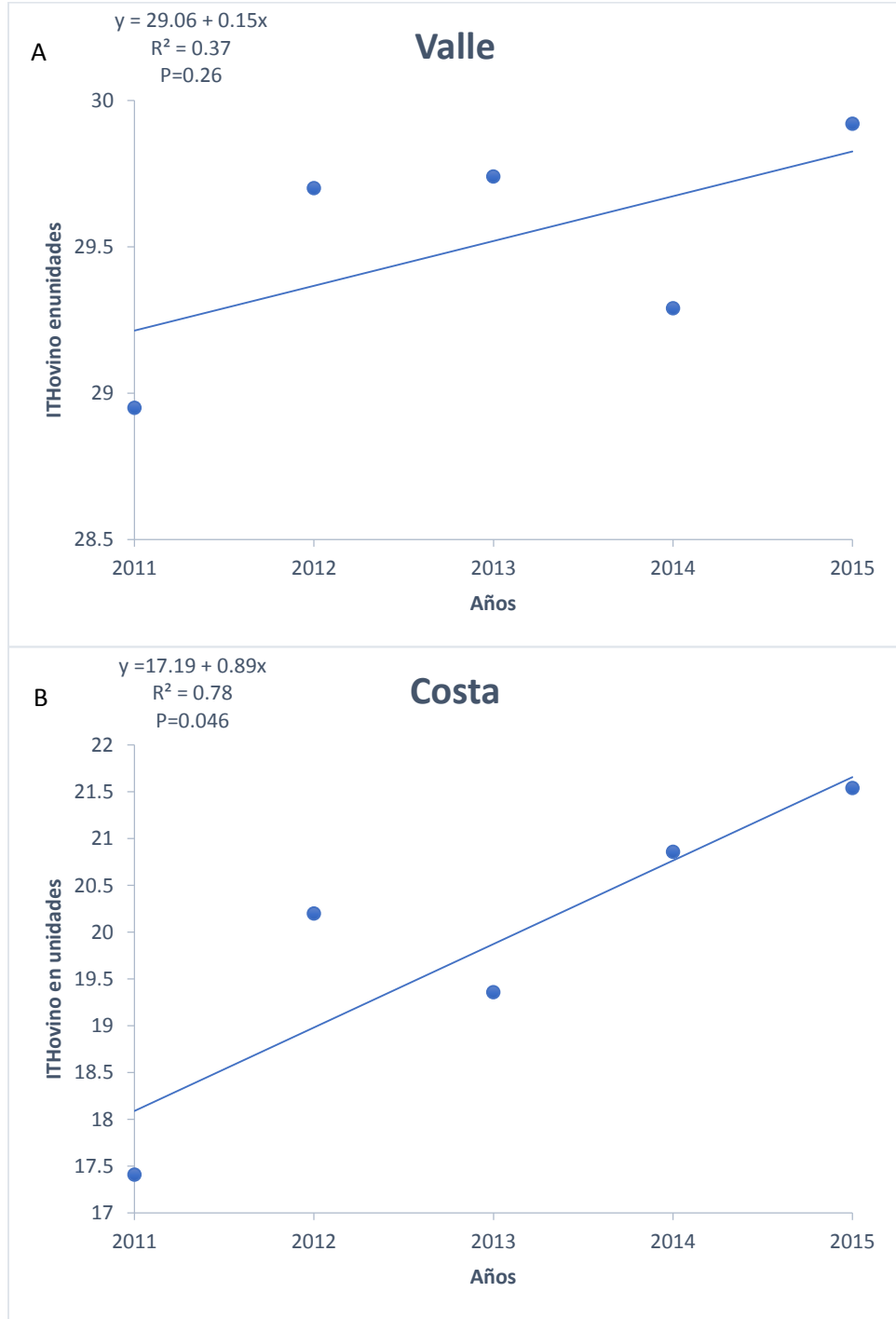
**Figura 9.** Relación entre años y la temperatura en la época de verano de la zona valle y costa del norte de Baja California.



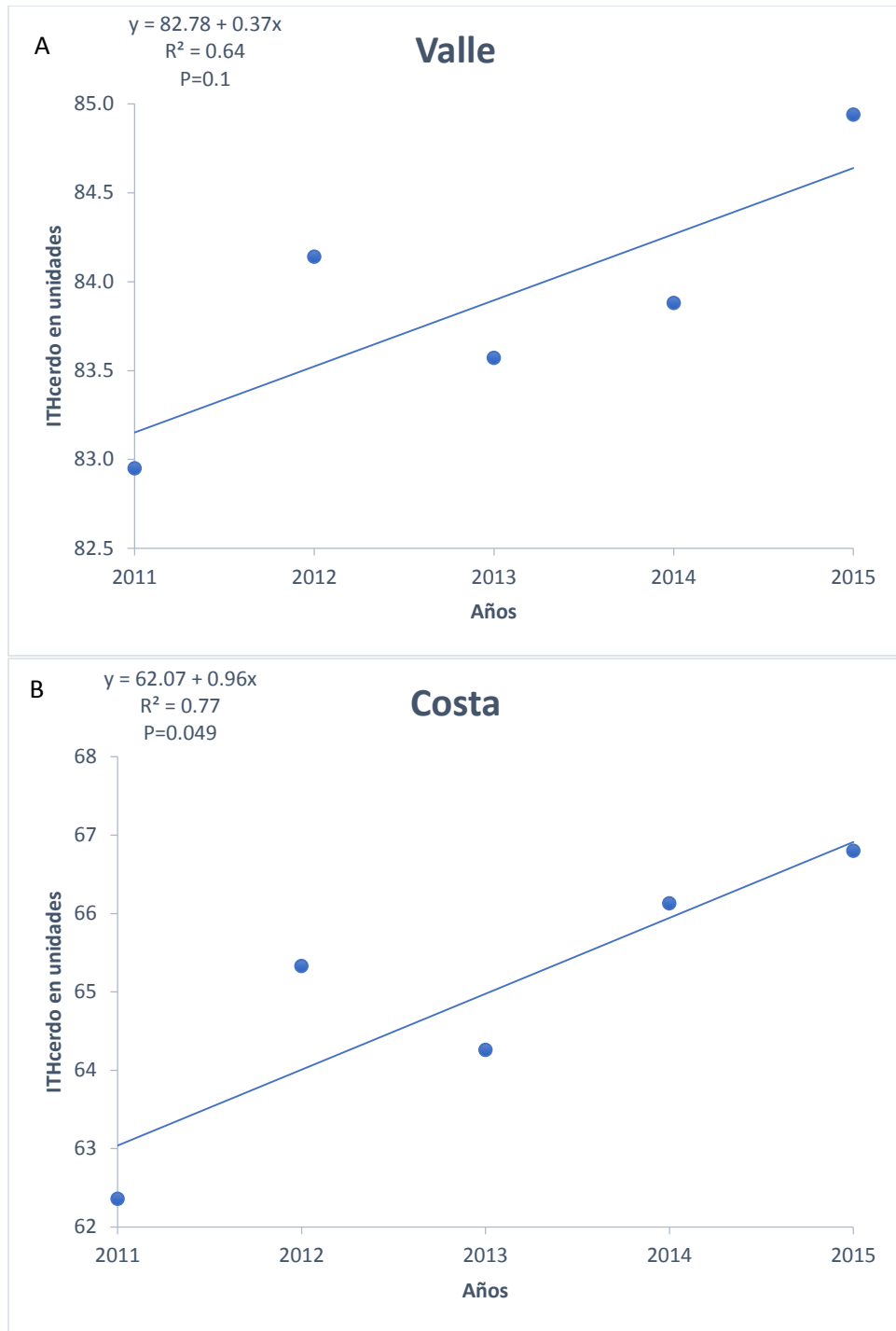
**Figura 10.** Relación entre años e ITH<sub>leche</sub> en la época de verano de la zona valle y costa del norte de Baja California.



**Figura 11.** Relación entre años e ITH<sub>carne</sub> en la época de verano de la zona valle y costa del norte de Baja California.



**Figura 12.** Relación entre años e ITH<sub>ovino</sub> en la época de verano de la zona valle y costa del norte de Baja California.



**Figura 13.** Relación entre años e ITH<sub>cerdo</sub> en la época de verano de la zona valle y costa del norte de Baja California.

## V. DISCUSIÓN

La información climática obtenida durante el periodo 2011-2015 permite inferir conocimientos acerca de la variabilidad climática existente entre la zona valle y costa del norte estado de BC por medio del análisis de las variables climáticas y los IBT, distinguiendo mediante la caracterización las zonas con diversas aptitudes para el establecimiento y crianza de diversas especies de ganado.

### 5.1. Temperatura

La T promedio anual del norte estado sobrepasó los 20 °C, valor que resultó diferente comparado con dos estudios previos realizados en la entidad, uno por PEACC-BC (2012) y otro por INEGI (2010), quienes reportaron que la T promedio anual no es mayor que 20 °C en la mayor parte del estado. Sin embargo, el PEACC-BC consideró la base de datos de 1961-1990, que es un periodo de tiempo anterior y mucho más extenso al utilizado en el presente estudio (2011-2015). Según estudio realizado en el norte estado de BC, la tendencia en la T ambiental es aumentar conforme pasan los años (García-Cueto et al., 2010). Esto coincide con el aumento de 1 °C en la T estimado en este estudio. Para la zona del noroeste de México, se estima un incremento en la T media anual entre 1.5 y 2.5 °C para los próximos 50 años (IPCC, 2013). Además, existen estudios en el estado de BC que evidencian alteraciones a eventos extremos de temperatura (García-Cueto et al., 2013; Casillas et al., 2014).

Durante el verano, la T registrada para el norte estado fue similar a los valores encontrados por PEACC-BC (2012) en los meses de julio y agosto (27 °C), sin embargo, en la zona valle la T superó los 30 °C en estos meses. En las zonas del norte estado de BC, las T registradas fueron variadas, se observó una tendencia de variación entre las dos estaciones de la zona valle (25 vs 24.4 °C con  $P=0.06$ ). Esta zona valle se caracteriza por un clima cálido, donde la T del aire puede resultar extremadamente alta durante el verano, tal como fue observado en este estudio. La T máxima registrada está dentro del rango del umbral máximo extremo ( $\geq 44$  °C) indicado por García-Cueto et al. (2013). Por el contrario, en la zona costa se registraron valores mucho más bajos que en la zona valle, sin embargo, según estudio previo esta zona ha estado



experimentando cambios en la T hasta el punto de tener la necesidad de implementar sombras en explotaciones lecheras (Avendaño et al., 2013). Silanikove (2000) propone la construcción de estructuras de sombra en regiones donde la T es mayor a 24 °C. La T máxima registrada en la zona costa fue 30 °C, este resultado puede evidenciar el efecto del CC en esta zona y apoyar la aplicación de alternativas para mitigar el EC en los animales. Estas T pueden tener impacto negativo en las explotaciones ganaderas establecidas en esta región. En rumiantes, normalmente con T mayores a 25 °C, se presenta un incremento gradual en la temperatura corporal a la vez que aumenta la TR y la sudoración (Fuquay, 1981; Armstrong, 1994; West, 2003), y a su vez disminuye la producción de carne y leche (Avendaño et al., 2010; Correa et al., 2009).

Los animales pueden diferir en su zona de confort térmico, ya que entre las especies o entre razas existen peculiaridades que las hacen más o menos resistentes al EC. La zona termoneutral para bovinos productores de leche de razas originarias de Europa (Holstein) ese ubica entre -5 y 21 °C (Johnson, 1986). Aunque para razas como la Jersey y Pardo Suizo puede llegar a 27 °C (Johnson, 1986). Sin embargo, las T máximas registradas para ambas zonas en este estudio durante el verano rebasaron estos límites, pero el promedio T de la zona costa fue de 20 °C. Esto significa que es una T tolerable para el ganado lechero, debido a que las mejores producciones oscilan entre 13 y 20 °C (Cedeño, 2011), aunque se registraron 23 °C de día, que puede ser perjudicable para ganado lechero. Sin embargo, es un reto muy grande para establecer ganado lechero en la zona valle debido a que se registran T máximas por encima de los 40 °C en la época cálida. Según Avendaño et al. (2010), es recomendable utilizar sistemas de enfriamiento para mitigar el efecto de las altas T durante esta época en dicha zona.

En ganado bovino productor de carne, específicamente ganado de engorda en corral, la zona termoneutral es de 0 a 25 °C. La disminución en la ganancia diaria de peso se ha estimado en 10 g por cada grado centígrado que disminuye la T a partir de 0 °C, o cada que aumenta después de 25 °C (Johnson, 1986). Aunque un estudio reciente reportó que la T óptima para *Bos indicus* es de 27 °C (Navas, 2010). Por lo tanto, la T registrada en la zona valle es más altas que estos valores, ya que durante el verano la T media fue 39 °C en horas del día y 28 °C en horas de la noche, aunque se

observó una disminución de más de 10 °C en la noche. Aun así, no es suficiente este descenso en la T nocturna para disipar el calor acumulado durante las horas luz del día, ya que algunos estudios han indicado que el animal tiene la oportunidad para perder el calor suficiente durante la noche solamente si la T es menor a 21 °C (Igono et al., 1992; Muller et al., 1994). Por otra parte, las T registradas en la zona valle fueron críticas para ovinos, ya que Fuquay (1981) reportó que la zona termoneutral de los ovinos se encuentra entre 18 y 27 °C. En el caso de ovinos de raza de pelo, se observó un aumento en la temperatura rectal, TR y frecuencia cardiaca a partir 31 °C (Cezar et al., 2004). Según Oliveira (2011), la temperatura crítica para ovinos es de 35°C.

En el caso de cerdos, las T registradas parecen ser un mayor problema para mantener su bienestar, ya que no poseen glándulas sudoríparas funcionales resultando ser más sensibles a las T altas. La temperatura de confort para cerdos en crecimiento oscila entre 18 y 24 °C (Quiniou et al., 2001). En los últimos años, algunos estudios demostraron que la constante exposición de cerdos a EC incrementa la TR y la temperatura corporal, reflejándose en una disminución en la ganancia de peso por un menor consumo de alimento (Pearce et al., 2013a). Considerando los resultados obtenidos, cualquier tipo de actividad ganadera es vulnerable a las altas temperaturas durante el verano en el valle de Mexicali, lo cual fue previamente observado por Montero (2013).

## **5.2. Humedad relativa**

El promedio de HR en el estado fue mayor a 50 %, donde la mayor parte de esta humedad se debe por las zonas costeras. También los valores altos de HR (70 %) con T bajas (20 °C) registrados en esta zona se debe esta condición. Por el contrario, en la zona valle las condiciones ambientales extremas registradas son típicas de regiones áridas, es decir, elevadas T (33 ° C) combinadas con HR (43 %) bajas durante el verano y viceversa en invierno. Asimismo, una HR mínima registrada del 8.4%; estas condiciones son características de los desiertos en el norte del país (SMN, 2010). También hay que resaltar que, durante el día y la noche, el comportamiento de la HR y la T son inversas (31.1 vs 55.1 % y 38.8 vs 27.8 °C). Según estudios, la HR es considerado como un factor adicional del EC, sin embargo, Avendaño-Reyes et al.

(2007) mencionan que una HR de 36 % con una T de 20 °C reduce el impacto del EC en los animales. No obstante, Berman (2006) señala que la eficiencia de los mecanismos de termorregulación evaporativos disminuye a partir de 45% de HR y una T de 32 °C. Algunos autores también reportaron pérdidas productivas a HR mayor de 70 % (Echeverri et al., 2015). En este estudio, los valores máximos de HR llegaron a 90 % en la zona costa y arriba de 70 % en la zona valle durante el verano. Cuando hay HR alta, el potencial de evaporación disminuye a medida que aumenta la T (Sen, 2008). Hay que tomar en cuenta que la HR puede ser un factor que ayuda a reducir el efecto del EC, siempre y cuando la T no sea tan elevada, como el caso de las T encontradas en la zona valle durante el verano.

### **5.3. Velocidad del viento**

La VV observada en esta investigación difiere entre las dos zonas de estudio, ya que se presentan viento con más velocidad en la zona costa que en la zona valle. Cabe mencionar que dentro de la zona valle se registró una diferenciación en la VV entre las estaciones, siendo la velocidad promedio para la estación de Ejido Nuevo León de 2.28 m/s, mientras que para la estación de Mexicali fue de 8.6 m/s. Se observó que, en la ciudad de Mexicali, los niveles de riesgo físico por vientos son mayores, pues el valle presenta un nivel bajo (Atlas, 2011).

La VV tiene impacto importante en el desempeño productivo de los animales. Por un lado, ayuda a la disipación del calor por vías evaporativas y convección durante el periodo estival (Mader et al., 2004), ya que un estudio previo reportó que por cada unidad de aumento en la VV, el ITH disminuye en aproximadamente dos unidades (Mader et al., 2006). Adicionalmente, Mader et al. (1999) y Berman (2008) reportaron que una velocidad de 2 m/s ayuda a la pérdida de calor corporal por convección. No obstante, esta pérdida de calor por convección se transforma en un efecto negativo durante el periodo invernal. En las dos zonas se registró mayor VV en horas luz del día que en las horas de la noche durante el verano. Mader et al. (2006) registraron resultados similares a los nuestros en un estudio realizado en Nebraska, EUA. Estos autores observaron una disminución en la capacidad para disipar el calor corporal durante la noche, ya que el viento fresco de la noche ayudó a disipar el calor, mientras

que el viento caliente de las horas luz del día incrementó la ganancia de calor corporal., una mayor VV en la noche favorece la pérdida de calor, sin embargo, a menor VV habrá menor pérdida de calor. Normalmente, el aire presentado de día en el valle de Mexicali durante verano es caliente, por lo que se puede incrementar el EC en los animales, aunque depende del estado del cuerpo del animal y la T del aire. Cuando la T del aire es baja, la VV aumenta la pérdida de calor por convección. Por el contrario, a altas temperaturas del aire, la velocidad del aire aumenta la ganancia de calor por convección (Sainz et al., 2017).

Con T mayores a 26 °C, HR por encima de 80% y VV por debajo de 2.5 m/s, los animales se pueden encontrar en estado de peligro por EC, de acuerdo a los umbrales propuestos por Suárez et al. (2012). Sin embargo, para la zona valle, se encontraron valores máximos de T, HR y VV mayores a estos valores señalados, lo cual confirma el estado de estrés al que se someten los animales en esta zona.

#### **5.4. Radiación solar**

La RS estimada tuvo alta variabilidad circadiana en ambas zonas de estudio, ya que cambió de 10 hasta 1027.2 W/m<sup>2</sup>. Esto es explicado porque durante las horas de oscuridad no hay RS y a través de las horas luz del día, la RS incrementa paulatinamente. La zona valle presentó 612 W/m<sup>2</sup> de RS en promedio por día, mientras la zona costa fue de 550 W/m<sup>2</sup>. Maia et al. (2005) reportaron que la pérdida de calor cutánea se activa en un rango de RS de 30 a 350 W/m<sup>2</sup>. La RS se considera como uno de los factores principales que provocan el estrés térmico en el ganado, debido a su impacto en forma directa sobre el cuerpo del animal. Según Oliveira et al. (2014), el ganado bovino disminuye en 11% el tiempo de pastoreo cuando se expone a RS por encima de los 500 W/m<sup>2</sup>, pero cuando la RS supera los 700 W/m<sup>2</sup>, los animales evitan pastorear. Sin embargo, en la época cálida, la RS promedio registrada en zona valle estuvo arriba de 500 W/m<sup>2</sup> y la máxima arriba de 1000 W/m<sup>2</sup>, lo cual sugiere que las condiciones ambientales no eran apropiadas para estimular el hábito de pastoreo en los animales.

En las explotaciones ganaderas se ha optado primordialmente por minimizar la ganancia de calor en el ganado reduciendo su exposición a la RS (Bilby, 2010). Por lo

tanto, los resultados obtenidos en este estudio demuestran la necesidad de la colocación de sombras en los establos y en las praderas. La sombra es un método accesible y económico en cualquier región para mitigar los efectos del EC, ya que evita la exposición directa a la RS (West, 2003; Brown-Brandl et al., 2016). Se ha estimado que la RS bajo sombras se reduce entre 30 y 50%, lo cual favorece la disminución de la temperatura rectal y la tasa respiratoria (West, 2003). El uso de sombra en climas cálidos es esencial para obtener una eficiencia productiva en el ganado, incluso es necesaria para su sobrevivencia en veranos extremos de calor como los registrados en el valle de Mexicali.

## 5.5. Índices bioclimáticos

### 5.5.1. Índice para ganado lechero ( $ITH_{\text{leche}}$ )

La combinación de la HR y la T ha sido utilizada para indicar el nivel del EC que experimentan los animales. Sin embargo, la clasificación del EC varía entre IBT y autores, dependiendo del propósito de la explotación. Armstrong (1994) realizó una clasificación para ganado lechero de la siguiente manera:  $ITH < 72$  unidades indicaba ausencia de EC; entre 72 y 79 unidades EC era ligero; de 80 a 89 unidades EC moderado, y  $> 90$  unidades era EC severo. En general, el  $ITH_{\text{leche}}$  promedio anual obtenido para norte de BC fue menor a las 72 unidades, aunque en el caso específico del verano, las condiciones climáticas fueron de EC de tipo ligero, ya que el  $ITH_{\text{leche}}$  fue de 74 unidades.

Las condiciones climáticas fueron variables en ambas zonas del norte de BC, ya que, en la zona valle, el  $ITH_{\text{leche}}$  promedio fue de 85 unidades (estrés moderado) y el máximo superó las 90 unidades (estrés severo), en comparación de la zona costa ( $ITH_{\text{leche}}$  promedio= 63 unidades y  $ITH_{\text{leche}}$  máximo= 78 unidades). Esto explica porque el ganado lechero en zona costa se encuentra bajo condición de confort y eventualmente en EC de tipo ligero. Sin embargo, estudios indican que, a un  $ITH$  de 68 unidades, el ganado lechero puede experimentar estrés ligero (Zimbelman et al., 2009). Asimismo, se han observado pérdidas en la producción de leche de alrededor de 2.2 kg/d cuando el  $ITH$  está entre 65 y 73 unidades (Zimbelman y Collier, 2011). Estos autores también han reportado reducciones en la producción y consumo de alimento de

21 y 9%, respectivamente, cuando el valor de ITH pasó de 68 a 78 unidades. Se ha estimado en 0.41 kg/vaca/d la reducción en la producción diaria de leche por cada punto de aumento en el valor de ITH después de 69 unidades (Bernabucci et al., 2010).

La importancia del índice utilizado para cuantificar el impacto del EC sobre la producción animal se observa en el trabajo de Bohmanova et al. (2007). Estos autores realizaron un estudio para determinar el umbral de EC y la tasa de disminución de la producción de leche asociada a un ITH específico. En este estudio compararon siete ITH con ponderaciones diferentes de T y HR. Los autores concluyeron que los IBT difieren en su capacidad para detectar un umbral en el cual el rendimiento lechero comienza a disminuir; los umbrales variaron entre 68 y 84 unidades. De manera similar, los índices difirieron en la tasa de disminución de la producción de leche por cada incremento en el grado de ITH, oscilando desde 0.27 hasta 0.59 kg. Considerando los valores obtenidos de las variables climáticas e IBT, ya sean promedios o máximos, la zona valle mostró tener vulnerabilidad por EC, situación que se acentúa durante los meses de julio y agosto, Bohmanova et al. (2007) observaron resultados similares durante estos meses en Phoenix, Arizona. Así, estas condiciones de EC comprometen la productividad del ganado lechero debido a que presentan una reducción en el consumo de alimento al mismo tiempo que realizan ajustes metabólicos y fisiológicos para reducir la producción de calor metabólico o la carga de calor corporal (Roads et al., 2009; Ravagnolo et al., 2000). Debido a esto, varios autores sugieren la aplicación de estrategias para mitigar los efectos del EC en el ganado lechero, entre las más comunes se encuentra el uso de sombras, aspersores, abanicos y modificaciones en la dieta (West, 2003; Correa et al., 2009, Avendaño et al., 2012).

#### 5.5.2. Índice para ganado carne ( $ITH_{carne}$ )

A pesar de que el ITH es el referente mundial de confort térmico en animales, éste no toma en cuenta el efecto de otros factores climáticos importantes como la RS y la VV. Por lo tanto, Mader et al. (2006) establecieron un ITH ajustado incluyendo VV y RS. Basado en este ITH, el EC se clasificó en cuatro categorías: normal (<74 unidades), alerta (74 a 79 unidades), peligro (79 a 84 unidades), y emergencia (>84 unidades) (LCI, 1970). En este estudio se utilizó este ITH ajustado llamado  $ITH_{carne}$

para el ganado bovino productor de carne. Este índice también fue utilizado por Mader et al. (2006) y Arias et al. (2010) para evaluar la influencia del ambiente en novillos Angus. Los valores de  $ITH_{carne}$  calculados en esta investigación son más bajos que el  $ITH_{leche}$ , lo que se puede relacionar con la inclusión de las variables climáticas VV y RS. Apoyando en el resultado encontrado por Mader et al. (2006), quienes indican que un ITH de 80 unidades pasa a 76.25 unidades con la inclusión de una RS de  $250 \text{ W/m}^2$  y una VV de  $5 \text{ m/s}^{-1}$ . Sin embargo, en el mismo estudio de Mader et al. (2006) observaron un incremento de 6 unidades con la misma RS, pero con una VV de  $0 \text{ m/s}^{-1}$ . Según los resultados de este estudio y el de Mader et al. (2006), al parecer la VV tiene una relación inversa con el ITH, es decir, a mayor VV menor ITH. No obstante, en el verano la zona valle casi no presenta diferencias entre los valores máximos del  $ITH_{leche}$  e  $ITH_{carne}$ , ya que sólo se observó una disminución de 0.5 unidades. Mientras que en la zona costa se observó una disminución de 8 unidades con valores de  $ITH_{carne}$  más bajo en el día que en la noche. Se pueden atribuir estos efectos a la alta RS combinada con la baja VV en la zona valle, y, en la zona costa a una menor RS con mayor VV en el día. Es importante resaltar que por cada  $100 \text{ W/m}^2$  de RS solamente se incrementa en 0.68 unidades el  $ITH_{carne}$ , y por cada unidad de  $\text{m/s}^{-1}$  que incrementa la VV se disminuye el ITH en dos unidades (Mader et al., 2006).

Aunque el ITH ajustado ( $ITH_{carne}$ ) a la RS y VV tuvo valor más bajo que el  $ITH_{leche}$ , durante la época de verano de la zona valle, los valores de  $ITH_{carne}$  estuvieron en el rango de EC de tipo alerta durante las horas del día, basado en la categorización de LCI (1970). En el caso de los valores máximos de ITH de esta zona, el EC de verano se consideró que en algunas horas del día fue de tipo emergencia. Arias et al. (2010) observaron resultados similares en estudio realizado en Chile durante la época cálida. En un análisis de datos de 10 años en ganado de carne en pastoreo, Amundson et al. (2006) reportaron un valor de ITH óptimo de 68 para la reproducción, con reducciones importantes en la tasa de preñez cuando el valor de ITH era mayor que 72.9 unidades. También se ha observado que, en condiciones de EC, se disminuye el peso de la canal (Nardone, 2010), así como la calidad de la carne (Kadim et., 2004).

### 5.5.3. Índice para cerdo ( $ITH_{\text{cerdo}}$ )

El índice utilizado para categorizar el rango de EC en cerdos en zona valle y costa incluyó solamente HR y T, al igual que el  $ITH_{\text{leche}}$ . Wegner et al. (2014) utilizaron este índice para evaluar el efecto del clima sobre la fertilidad en cerdas. También fue utilizado por Espinoza et al. (2017) para evaluar el efecto del EC sobre el desempeño productivo y reproductivo de cerdas en ambientes cálidos, considerando ausencia de EC a  $ITH \leq 74$  unidades. El valor promedio del  $ITH_{\text{cerdo}}$  encontrado en zona valle en la época estival superó este límite crítico, lo que coincide con lo observado por Espinoza et al. (2017), utilizando datos de 3 años en el valle de Mexicali durante el verano. Asimismo, el  $ITH_{\text{cerdo}}$  máximo casi llegó a las 80 unidades en la zona costa y superó las 100 unidades en la zona valle. Cabe mencionar que Pearce et al. (2013a) demostraron la presencia de condiciones de EC severo a ITH entre 79 y 83 unidades para cerdos. Al parecer, los cerdos son más susceptibles al EC que los bovinos debido a su poca capacidad de sudoración, siendo estas condiciones muy extremas para su desarrollo productivo y reproductivo. Se ha encontrado que el EC reduce el desempeño productivo de las cerdas (Wegner et al., 2014). Otros autores observaron daños en las estructuras intestinales en cerdos en esa misma condición (Pearce et al., 2013b). Así, se obtuvo en este estudio valores de  $ITH_{\text{cerdo}}$  en el verano que indican un estrés muy severo, los cuales pueden causar la muerte en cualquier tipo de explotación porcina. Niveles de EC severo incrementan la probabilidad de muerte, en especial un  $ITH > 84$  unidades durante el día y sin poca o ninguna recuperación en la noche (Armstrong, 1994; West, 2003; Vitali et al., 2009). Tal como se observó en este estudio, en la zona valle durante el día y la noche (94.3 vs 75.0 unidades), el animal puede llegar a recuperarse solamente si el ITH está debajo de las 72 unidades durante la noche (De la Casa y Ravelo, 2003). En caso contrario permanecen con el EC día y noche.

### 5.5.4. Índices para ovinos ( $ITH_{\text{ovino}}$ )

El índice utilizado para caracterizar el EC en ovinos en este estudio fue el propuesto por Marai et al. (2001). Las categorías dependen de la expresión de la temperatura ( $^{\circ}\text{F}$  o  $^{\circ}\text{C}$ ). De acuerdo con este ITH, el EC se clasifica de la siguiente manera: ausencia ( $<22.2$  unidades), moderado ( $22.2$  a  $<23.2$  unidades), severo



(23.2 a <25.6 unidades) y extremadamente severo (>25.6 unidades). En general, el ITH<sub>ovino</sub> registrado en el estado durante el verano fue considerado como condiciones de estrés severo para los ovinos (24.9 unidades). Sin embargo, por los valores de ITH<sub>ovino</sub> registrados en este trabajo, se consideró que la zona valle se encuentra bajo EC altamente severo durante el verano (29.5 unidades), principalmente los meses de junio a agosto. Mientras tanto, la zona costa está por debajo de la zona termoneutral (20.1 unidades). Sin embargo, se observa una tendencia al estrés calórico en la zona costa muy pequeña durante el verano de día (22.5 unidades). En ovinos y otras especies domésticas, las condiciones de EC se relacionan con una disminución en el consumo de alimento como consecuencia de una reducción en el funcionamiento de la glándula tiroides (Marai et al., 2007). Así la reducción en el consumo diario de alimento afecta negativamente la tasa de crecimiento, el peso al sacrificio y la calidad de la carne (Macías-Cruz et al., 2016a).

El efecto del EC en ovinos varía entre razas. Los ovinos de pelo son razas que se desarrollaron en climas tropicales donde las temperaturas y humedades son altas; mientras que las razas de lana siempre se han mantenido en climas fríos. Debido a esto, los ovinos de pelo muestran ser razas más tolerantes al calor y adaptables a diferentes condiciones ambientales cálidas (Fitzhugh y Bradford 1983). Los ovinos de pelo han demostrado la habilidad de crecimiento y de reproducción bajo condiciones estresantes (Silanikove 2000; Marai et al. 2007); ejemplos de estas razas en México son Pelibuey, Doper, Katahdin y su cruza (Macías-Cruz et al., 2016b). Otra ventaja detectada en ovinos de pelo es que, bajo condiciones de altas temperaturas, no compromete sus actividades reproductivas (Gastélum-Delgado et al., 2015). Sin embargo, cuando estas condiciones son extremadamente altas, como en el caso de los valores extremos encontrado en este estudio para la zona valle, se pueden comprometer varios parámetros (crecimiento, productivo y reproductivo entre otros). Por otro lado, Saavedra-Buenrostro (2017) observó que ovinos de pelo en verano sin acceso a sombra evitan un cuadro de deshidratación, siempre y cuando haya agua disponible para beber. Esto después de analizar los niveles de electrolitos en sangre de ovinos con y sin sombra en el valle de Mexicali, B.C.

## **5.6. Tasa respiratoria estimada**

Brown-Brandl et al. (2005) señalan que la TRE es el indicador más apropiado para monitorear el estrés por calor en ganado de engorda en corral. Eigenberg et al. (2005; 2010) desarrollaron una ecuación basada en variables climáticas para estimar la TRE y asociarla con las categorías de ITH y el nivel de EC. Estos autores clasificaron al EC de la siguiente manera: normal (ITH < 74 unidades y TRE < 90 rpm), alerta (ITH = 74 a 79 unidades y TRE = 90 a 110 rpm), peligro (ITH = 79 a 84 unidades y TRE = 110 a 130 rpm) y emergencia (ITH > 84 unidades y TRE > 130 rpm). Tomando en cuenta los resultados de este trabajo, el EC que prevaleció en los meses más calientes de la zona valle fue de peligro, y en caso específico de agosto, el EC mostró ser en algunos momentos de emergencia (ITH<sub>carne</sub> = 89 unidades y TRE = 132 res/min). Sin embargo, en la zona costa los rangos estuvieron debajo del valor considerado normal durante estos meses. Una mayor TRE en una primera instancia ayuda al animal a lograr una mayor disipación del exceso de calor por las vías respiratorias, como consecuencia de un incremento en la frecuencia y a una disminución del volumen de aire inspirado (McGovern y Bruce, 2000). Sin embargo, en condiciones de EC más extremo, la activación de este mecanismo termorregulatorio no resulta suficiente para lograr disipar todo el exceso de carga de calor corporal, por lo cual la frecuencia respiratoria tiende convertirse más lenta pero también profunda (McGovern y Bruce, 2000). La mayor TRE implicaría una mayor actividad muscular, lo que contribuiría directamente a una mayor producción de calor metabólico. De hecho, se ha documentado que la TRE está asociada a un 18% de incremento en el calor metabólico (NRC 1981). Una alta frecuencia respiratoria indica mayor sensibilidad a las altas temperaturas ambientales, demostrando una condición no adaptativa y respuestas severas al EC en bovinos (Mitlöhner et al., 2001).

## **5.7. Regresión y correlación de las variables climáticas**

Mediante la aplicación de modelos de regresión lineal se trató de explicar la variabilidad de las variables climáticas y los IBT en función del tiempo. Sin embargo, por

los valores de los coeficientes de determinación obtenidos, se infiere que las variables climáticas no mostraron una tendencia definida a través de los años, explicando un bajo porcentaje de la variabilidad observada en las variables climáticas y los IBT en la zona valle. Por otro lado, para la zona costa sí se obtuvo un buen ajuste, lo cual significa que las variaciones observadas en la T y los IBTs parecen mostrar mayor explicación con el paso de los años. Se observa un incremento, aunque no significativo ( $P > 0.05$ ) de  $0.21^{\circ}\text{C}$  por año en la T de la zona valle. García-Cueto et al. (2010) observaron un incremento significativo de  $0.25^{\circ}\text{C}$  por año en T a través de los años en esta misma zona pero incluyendo un archivo de datos de 60 años. Por otro lado, en la zona costa el aumento estimado en este estudio fue significativo y de casi  $1^{\circ}\text{C}$  ( $P = 0.04$  y  $R^2 = 0.78$ ). Congruente con las asociaciones observadas entre variables climáticas y años de estudio en la zona costa, también se evidenció que la mayoría de los IBT tuvieron una relación positiva con los años. Sin embargo, en el caso específico de  $\text{ITH}_{\text{carne}}$ , el cambio observado en este IBT no se asoció con los años en la zona costa. Esto puede ser debido a que las variables RS y VV fueron incluidas en este índice. Considerando los resultados de este modelo, se puede inferir que el efecto del CC es más notable para la zona costa. Una conclusión similar fue señalada por Hernández et al. (2011) en un estudio realizado en Veracruz, de la misma forma en una zona costera. Por otro lado, en la zona valle se muestra cierta tendencia positiva, pero no significativa ( $P > 0.05$ ).

Con respecto a las correlaciones de las variables climáticas e IBT, solamente dos correlaciones no fueron significativas, la TRE con VV ( $r = -0.03$ ;  $P > 0.10$ ) para la zona valle y la TRE con RS ( $r=0.02$ ;  $P > 0.12$ ) para la zona costa. El resto de las variables presentaron correlaciones significativas ( $P < 0.05$ ); no obstante, en algunos casos los coeficientes fueron bajos ( $\text{ITH}_{\text{ovino}}$  con VV en zona costa [ $r=0.14$ ] e  $\text{ITH}_{\text{leche}}$  con HR [ $r=-0.16$ ]), siendo significativos posiblemente debido a la gran cantidad de datos con los que se realizaron las estimaciones.

La correlación entre  $\text{ITH}_{\text{carne}}$  con la TRE en ambas zonas fue alta y significativa ( $P < 0.05$ ) lo cual coincide con lo reportado en la literatura, ya que a mayor nivel de estrés calórico, se observa mayor frecuencia respiratoria (Leyva et al., 2015).

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a la base de datos climáticos de 5 años analizada en este estudio, las variables climáticas y los índices bioclimáticos registrados presentan diferencias importantes entre zonas. Dados los promedios estimados de los índices bioclimáticos en zona valle y costa, se observa un grado de estrés de ligero a severo en 6 meses del año en la primera, mientras que en la segunda prácticamente no existe estrés por calor.

De acuerdo a la caracterización de los índices bioclimáticos, el  $ITH_{carne}$  presenta valores más bajos que los demás índices, mientras que los  $ITH_{leche}$  e  $ITH_{cerdo}$  presentan valores casi similares. De estos últimos, el  $ITH_{cerdo}$  presentó el valor más alto. Esto sugiere que la ganadería bovina productora de carne es más factible de ser explotada en el estado. Las condiciones también son estresantes para ovinos de pelo, aunque ellos manifiestan mayor tolerancia al calor que el resto de las especies estudiadas.

Se confirma que la zona valle presenta mayor vulnerabilidad por estrés calórico para todas las especies, por lo que es recomendable adoptar estrategias de manejo para evitar una caída drástica de la productividad en la ganadería de la zona valle de Mexicali.

## VII. LITERATURA CITADA

- Adams, R. M., C. Rosenweig, R. M. Peart, J.T. Ritchie, B. A. McCarl, J. D. Glycer, R. B. Curry, J. W. Jones, K. J. Boote, and L. H. Allen. 1990. Global climate change and US agriculture. *Nature* 345: 219-224.
- Al-Dawood, A. 2017. Towards heat stress management in small ruminants a review. *Ann. Anim. Sci.* (17)1: 59-88.
- Alexandratos, N., and J. Bruisnma. 2012. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. Global Perspective Studies Team. FAO Agricultural Development Economics Division. ESA Working Paper No. 12-03. Rome, FAO. pp. 94.
- Almaguer-Sierra, P., Rodríguez-Fuentes, L. Barrientos, S. Grisell, and J. A. Vidales-Contreras. 2014. Relationship between degree-days and the production of *Opuntia ficus-indica* for human consumption in Marin, Nuevo León. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(6): 1055-1065.
- Alves, J.R.A., T.A.A. Andrade, D.M. Assis, T.A. Gurjão, L.R.B. Melo, and B.B. Souza. 2017. Productive and reproductive performance, behavior and physiology of cattle under heat stress conditions. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 5: 91-96.
- Amundson, J. L., T. L. Mader, R. J. Rasby, and Q. S. Hu. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 3415-3420.
- Anzures-Olvera, F., U. Macías-Cruza, F. D Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, R. Díaz-Molina, J. A. Hernández-Rivera, and L. Avendaño-Reyes. 2015. Effect of season (summer vs winter) on physiological variables, milk production and antioxidant capacity of Holstein cows in an arid zone of northwestern México. *Arch. Med. Vet.* 47: 15-20.
- Arias, R. A., T. L. Mader, and P. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch. Med. Vet.* 40: 7-22.
- Arias, R. A., and T. L. Mader. 2010. Determination of potential risk of heat stress of cattle in four locations of Central and Southern Chile. *Arch. Med. Vet.* 42: 33-39.

- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2050.
- Avendaño-Reyes, L., F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, J. S. Saucedo-Quintero, F. Rivera-Acuña, F. J. Verdugo-Zárate, C. F. Aréchiga-Flores, and P. H. Robinson. 2007. Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el periodo seco del ganado lechero durante el verano. *Rev. Téc. Pecu. Méx.* 45: 209-225.
- Avendaño-Reyes, L., F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, A. Algándar-Sandoval, E. Rodríguez-González, R. Pérez-Velázquez, U. Macías-Cruz, R. Díaz-Molina, P. H. Robinson, and J. G. Fadel. 2010. Comparison of three cooling management systems to reduce heat stress in lactating Holstein cows during hot and dry ambient conditions. *Livest. Sci.* 132: 48-52.
- Avendaño-Reyes, L. 2012. Heat stress management for milk production in arid zones, milk production an up to date overview of animal nutrition, management and health. *Tech. Ed. Narongsak Chaiyabutr.* Pp. 165-184.
- Avendaño-Reyes, L. 2013. La ganadería en Baja California ante el Cambio Climático. Capítulo 4. En: *Baja California Ante el Embate del Cambio Climático.* Editorial UABC.M. Quintero (Ed). Mexicali, B.C., México. Pp. 220.
- Baylis, M., y A. K. Githeko. 2006. Los efectos del cambio climático en las enfermedades infecciosas de los animales. Informe para el proyecto de previsión de Detección de Enfermedades Infecciosas. Departamento de Comercio e Industria, Gobierno del Reino Unido. Pp. 35.
- Beede, D. K., and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62:543-554.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat stress relief. *J. Dairy Sci.* 89: 3817-3824.
- Berman, A. 2008. Increasing heat stress relief produced by couple coat wetting and forced ventilation. *J. Dairy Sci.* 91:4571-4578.

- Berman, A. 2010. Forced heat loss from body surface reduces heat flow to body surface. *J. Dairy Sci.* 93: 242-248.
- Bernabucci, U., N. Lacetera, L. H. Baumgard, R. P. Rhoads, B. Ronchi, and A. Nardone. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* 4:1167-1183.
- Bianca, W. 1968. Thermoregulation. Hafez ES (ed). *Adaptation of Domestic Animals*. Lea & Febiger, Philadelphia, USA. Pp. 97-118.
- Bilby, T. 2010. Retos reproductivos y soluciones durante el estrés calórico en vacas lecheras lactantes. Ponencia. XX Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Mexicali, Baja California, México. 7 y 8 de octubre. Pp. 25.
- Bohmanova, J., I. Misztal, and J. B. Cole. 2007. Temperature humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90: 1947-1956.
- Broecker, S. 1982. Química del océano durante el tiempo glacial. *Geochim. Cosmochim.* 46: 1689-1705.
- Brown-Brandl, T. M., R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber, and G. L. Hahn. 2005. Dynamic responses indicators of heat stress in shared and non-shaded feedlot cattle, part1: Analyses of indicators. *Biosyst. Eng.* 90: 451-462.
- Brown-Brandl, T. M., J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, T. L. Mader, J. L. Morrow, and J. W. Dailey. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci.* 105: 19-26.
- Brown-Brandl, T. M. 2008. Heat stress in feedlot cattle. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nut. Nat. Res.* 3: 1-14.
- Brown-Brandl, T. M., C. G. Chitko-McKown, R. A. Eigenberg, J. J. Mayer, T. H. Welsh Jr, J. D. Davis, and J. L. Purswell. 2016. Physiological responses of feedlot heifers provided access to different levels of shade. *Animal* 11(8): 1344-1353.

- Buffington, D. E., A. Collazo-Arocho, G. H. Canton, D. Pitt, W. W. Thatcher, and R. J. Collier. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Am. Soc. Agric. Eng.* 24: 711-714.
- Casillas, H. A., R. García-Cueto, O. Camacho y F. González. 2014. Detección de la isla urbana de calor mediante modelado dinámico en Mexicali, BC, México. *Info. Tec.* 25:139-150.
- CCAC, 2009. Canadian Council on Animal Care. The care and use farm animals in research, teaching and testing. In line: <http://www.ccac.ca/DocumentsStandars/Guidelines/FarmsAnimals.pdf>. Diciembre 2017.
- Cena, K., and J. L. Monteith. 1975. Trasnsfer processes in animal coats. I. Radiative transfer C. *Proceedings of the Royal Society of London. Biol. Sci.* 188: 377-393.
- CENAPRED, 2005. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2004. México, Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México. 6: 15-176.
- CENAPRED, 2001. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, Atlas nacional de riesgos de la república mexicana. México: Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil. Atlas de riesgos del municipio de Mexicali, B.C.
- CEPAL, 2011. Tabasco: Características e Impacto Socioeconómico de las Lluvias Extremas de 2008. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Pp. 149.
- Cezar, M. F., B. B. Souza, and W. H. Souza. 2004. Avaliação de parâmetros fisiológicos de Ovinos Dorper, Santa Inês e seus Mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. *Ciênc. Agrotec.* 28: 614-620.
- Collier, R. J., G. E. Dahl, and M. J. Van-Baale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 1244 - 1253.



- CONAGUA, 2011. Comisión Nacional del Agua. Datos de las estaciones Meteorológicas en México. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42)lt. Consultado el 16 de Febrero 2018.
- Correa-Calderón, C. A., L. Avendaño, A. R. Villanueva, D. V. Armstrong, J. F. Smith, y S. K. Denise. 2002. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. *Agrociencia* 36: 531-535.
- Correa-Calderón, A., G. des Santos, L. Avendaño, F. Rivera, D. Álvarez, F. Ardon, R. Diaz, y R. Collier. 2009. Enfriamiento artificial y tasa de concepción de vaquillas Holstein con estrés térmico. *Arch. de Zootec.* 58: 231-239.
- Cruz, G., y C. Saravia. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* 1: 56-60.
- Cruz, G., y J. L. Urioste. 2009. Variabilidad temporal y espacial del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en zonas de producción lechera de Uruguay. *Agrociencia* 13: 37-46.
- Davis, M. S., T. L. Mader, S. M. Holt, and A. M. Parkhurst. 2003. Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. *J. Anim. Sci.* 81: 649-661.
- Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.* London: Murray.
- De la Casa, A., and A.C. Ravelo. 2003. Assessing temperature and humidity conditions for dairy cattle in Córdoba, Argentina. *Int. J. Biometeorol.* 48: 6-9.
- De Shazer, J. A., G. L. Hahn, and H. Xin. 2009. Basic principles of the thermal environment and livestock energetics. J. A. DeShazer (ed.) *Livestock energetics and thermal environmental management.* Pp. 1-22. ASABE, St. Joseph, MI.
- Dietsch, D. C., W. O. Tom, G.D. Lacefield, and W. Murdock. 1997. Bermuda grass: A summer forage in Kentucky. University of Kentucky. College of Agriculture. Cooperative Extension Service. AGR48.

- Dunshea, F., B. Leury, F. Fahri, K. DiGiacomo, A. Hung, S. Chauhan, I. Clarke, R. Collier, S. Little, L. Baumgard, and J. Gaughan. 2013. Amelioration of thermal stress impacts in dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 53(9): 965-975.
- Easterling, W., and M. Apps. 2005. Assessing the consequences of climate change for food and forest resources: a view from the IPCC. *Climatic Change.* 70, 165-189.
- Ehrenfeld D, 2005. The environmental limits to globalization. *Conser. Biology* 19 (2): 318-326.
- Echeverri, M., L. Galeano-Vasco, M. Cerón-Muñoz, y S.M. Girón- Márquez. 2015. Effect of climatic variables on milk yield in Holstein cows. *Livest. Res. Rural Develop.* 27(12): 56-65.
- Eigenberg, R. A., T. M. Brown-Brandl, J. A. Nienaber, and G. L. Hahn. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle-part 2. Predictive relationships. *Biosyst. Eng.* 91: 111-118.
- Eigenberg, R. A, M. T. Brown-Brandl, and J. A. Nienaber. 2010. Shade material evaluation using a cattle response model and meteorological instrumentation. *Int. J. Biometeorol.* 54: 60-607.
- EM-DAT. The OFDA/CRED international disaster database, <http://www.emdat.net>; 2012. revisado Mayo 2016.
- EPA, 2009. US Environmental Protection Agency [http:// www.epa.gov/climate](http://www.epa.gov/climate).revisado Octubre 2017.
- Espinoza, S. S., P. B. A. Araiza, L. E. Avelar, M. R. L. Camacho, T. A. Morales, M. R. Cervantes, y C. L. Buenabad. 2017. Efecto del estrés por calor sobre el desempeño productivo y reproductivo de cerdas en ambientes cálidos. En: XXVII Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, Mexicali, Baja California, México. 5 y 6 de octubre. Pp.95.
- Ferin, M. 2006. Stress and the reproductive cycle. *J. Clin. End. & Metab.* 84: 1768-1774.

- Fitzhugh, H. A., and Bradford, G. E. 1983. Hair sheep of Western Africa and the Americas: a genetic resource for the tropics. Westview Press. Boulder, Colorado.
- Flamenbaum, I. 2013. Ventajas de la gestión del stress calórico en el rodeo lechero. Columnistas. FEPALE 1(7): 3-8.
- Flamenbaum, I. 2014. Alta producción de leche en condiciones de estrés calórico. 2014. Servicio de Extensión; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Dpto. de Ganadería; Estado de Israel. Consultado Septiembre. 2017. Disponible en: [http://cowkool.com/es/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/alta.pdf](http://cowkool.com/es/_Uploads/dbsAttachedFiles/alta.pdf).
- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. J. Anim. Sci. 52:164-174.
- García-Cueto, O. R., M. A. Tejada, and E. Jáuregui. 2010. Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of Mexico: current trends and in climate change scenarios. Int. J. Biometeorol. 54: 335-345.
- García-Cueto, O. R., N. Santillán, S. Ojeda, and M. Quintero. 2012. Escenarios de temperaturas extremas en Mexicali, México, bajo condiciones de cambio climático. En: 8vo Congreso Internacional Cambio Climático: Extremos e Impactos. Septiembre de 2012. Salamanca, España. Pp. 349-358.
- García-Cueto, O. R., N. Santillán, M. Quintero, S. Ojeda, and N. Velázquez. 2013. Extreme temperature scenarios in Mexicali, México under climate change conditions. *Atmósfera*. 26(4): 509-520.
- García, E. 1985. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) (2a edición). México, D.F. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, E. y R. Vidal. 1992. Temperaturas extremas en la República Mexicana. Atlas Nacional de México. Hoja IV. 4.5. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Gastelum-Delgado, M. A., L. Avendaño-Reyes, F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado y U. Macías-Cruz. 2015. Conducta

estral circanual en ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas del noroeste de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 6: 109-118.

Gaughan, J. B., L. Goopy, and J. Spark. 2002. Excessive Heat Load Index for Feedlot Cattle. *Meat and Livestock Australia: Sydney, NSW, Australia.*

Gaughan, J. B., M. S. Davis and T. L. Mader. 2004. Wetting and the physiological responses of grain-fed cattle in a heated environment. *Aust. J. Agr. Res.* 55: 253-260.

Gaughan, J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, and A. Lisle. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86: 226-234.

Gaughan, J. B., N. Lacetera, S. E. Valtora, H. H. Khalifa, L. Haba, and T. Mader. 2009. Reponse of domestic animals to challenge. K. L. Ebi et al. (eds.), *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change.* Dordrech. Springer. Pp.131-70.

Gay, C. 2000. México: Una visión hacia el siglo XXI. *El Cambio Climático en México.* UNAM – Semarnat, México. Pp. 119-142.

Da Silva, R. G., A. Maia, and L. Costa. 2014. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *Int. J. Biometeorol.* 59(5): 551-559.

Guillen, D. 2008. Eco-Historicism. *J. Early Mordern. Cult. Studies.* 8(2): 1-7.

Gerber, P.J., H. Steinfeld, B.Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, y G. Tempio. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.

Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77(2): 10-20.

Hahn, G. L., J. B. Gaughan, T. L. Mader, and R. A. Eigenberg. 2009. Chapter 5: Thermal Indices and Their Applications for Livestock Environments. In J. A.

- DeShazer (ed). In: Livestock Energetics and Thermal Environmental Management. 113-130 pp. St. Joseph, MI, USA. ASABE.
- Harmer, J., M. Smith, M. Brouk and P. Murphy. 2000. Reducing heat stress in holding pens. Howard`s Dairyman. May. Pp. 66.
- Hansen, P. J., 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. Anim. Reprod. Sci. 82 (83):349-360.
- Harle, K. J., S. M. Howden, L. P. Hunt, y M. Dunlop. 2007. El impacto potencial del cambio climático sobre la industria de la lana de Australia en 2003. Sist. Agr. 93: 61-89.
- Harvell, C. D., C. E. Mitchell, J. R. Ward, S. Altizer, A. P. Dobson, R. S. Ostfeld, y M. D. Samuel. 2002. Ecología - Calentamiento climático y enfermedades riesgos para la biota terrestre y marino. Ecol. Lett. 296: 2158-2162.
- Henshall, J. M. 2004. Un análisis genético de los rasgos de resistencia del parásito en una línea tropicalmente adaptada de *Bos taurus*. Aust. J. Agr. Res. 55 :1109-1116.
- Herrera, M., O. Hanotte, and A. Notenbaert. 2008. Potential of modelling animal genetic resources data in relation to other existing data sets. In: D. Pilling, B. RIschkowsky, B. Scherf. (Eds.). Report on the FAO/WAAP workshop on production environment descriptors for animal genetic resources. Caprarola, Italy.
- Hernández A., B. Domínguez, P. Cervantes, S. Muñoz-Melgarejo, S. Salazar-Lizán, and A. Tejeda-Martínez. 2017. Temperature-humidity index (THI) 1917-2008 and future scenarios of livestock comfort in Veracruz, México, *Atmósfera* 2: 89-102.
- Hoberg, E. P., L. Polley, E. J. Jenkins, and S. J. Kutz. 2008. Pathogens of domestic and free-ranging ungulates: global climate change in temperate to boreal latitudes across North America. Rev. Sci. Tech. 27 (2): 511-528.
- Hoffmann, I. 2010. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. Anim. Gen. 41: 32-46.

- Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson. 2001. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Pp.881.
- Huhnke, R. L., L. C. McCowan, L. C. Meraz, S. L. Harp, and M. E. Payton. 2001. Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. ASAE Annu. Int. Mtg., Sacramento, CA. Am. Soc. Agric. Biol. Eng., St. Joseph, MI.
- Igono, M. O., G. Bjoetvedt, and H. T. Sanford-Crane. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. Int. J. Biometeorol. 36: 77- 87.
- INE, 2006. México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Pp. 211.
- INEGI, 2010. Atlas de riesgo del municipio de Mexicali: peligros hidrometeorológicos. Pp. 62.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016. En: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/poblacion/distribucion.aspx?tema=me&e=02>.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate Change 2012: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. 30.01.2017.
- Johnson, H. D. 1986. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production. In Bioclimatology and the adaptation of livestock. Nieman-Sorensen-Tribe eds. Amsterdam, Elsevier. Sci Publish. Pp. 35-52.
- Johnson, H. D., M. D. Shanklin, and L. Hahn. 1980. Productive adaptability of Holstein cows to environmental heat. Res. Bull. No. 1060, Univ. Missouri Coll. Agr. Exp. Station, USA.

- Kadim, I. T., O. Mahgoub, D. S. Al-Ajmi, R. S. Al-Maqbaly, N. M. Al-Saqri, and A. Ritchie. 2004. An evaluation of the growth, carcass and meat quality characteristics of Omani goat breeds. *Meat. Sci.* 66: 203-210.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77: 59-91.
- Keatinge, W. R., G. C. Donaldson, and E. Cordioli. 2000. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ.* 321: 670-673.
- Khalifa, H. H, T. Shalaby, and T. M. M. Abdel-Khalek. 2005. An approach to develop a biometeorological thermal discomfort index for sheep and goats under Egyptian conditions. In: *Proc. 17th International Congress of Biometeorology*. Garmisch, Germany, 5-9 September 2005, Deutscher Wetterdienst, Kaiserleistr, 29-35, 63067 Offenbach am Main, Germany. Pp. 118-122.
- Khalifa, H. H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. *Interactions between climate and animal production*. Germany. 7:15-29.
- Kharin, V., Zwiers, F. J. and G. Hegerl. 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *J. Clim.* 20: 1419-1444.
- Klohn, W. and J. Faurès. 2006. Water for food, agriculture and rural livelihoods. In: *Water, a shared responsibility*. The United Nations World Water Development Report. 2: 243-274.
- Kochanek, D. K., A. M. Miniño, S. L. Murphy, J. Xu, and H. C. Kung. 2011. Deaths: Final data for 2009. *Nat. Vital. Stat. Rep.* 60(3): 1-117.
- Kolkhorst, D. M. D. Pasquale, and M. J. Buono. 2002. Effect of tap water iontophoresis on sweat gland recruitment, skin temperature and skin blood flow. *J. Dermatol. Sci.* 28: 97-101.
- Köppen, W. 1936. *Das geographische System der Klimate*. Handbuch der Klimatologie (ed. by W. Köppen and R. Geiger), Vol 1 Part C pp.1-44. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.

- Kristjanson, P., A. Notenbaert, N. Bekele and A. Omolo. 2008. Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. *AfJARE*. 2(1): 24-44.
- Langlois, 1994. Inter-breed variation in the horse regarding cold adaptation: a review. *Livest. Prod. Sci.* 40:1-7.
- Langridge Australia Occidental. 2014. Porcicultores 283, BM Editores. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/0produccion\\_porcina\\_general/279\\_Como\\_Superar\\_estres.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/0produccion_porcina_general/279_Como_Superar_estres.pdf). Revisado Abril 2017.
- LCI, 1970. Patterns of transit losses. Livestock Conservation, Incorporated, Omaha, Nebraska.
- Lemerle, C., and M. E. Goddard. 1986. Assessment of heat stress in dairy cattle in Papua New Guinea. *Trop. Anim. Health Prod.* 18: 232-242.
- Leva, P. E., y S. E. Valtorta. 1997. Disminución de la producción de leche Fornasero durante el verano en Argentina: presentar la situación y efectos esperados del calentamiento global. En: Actas del 14vo Congreso Internacional de Biometeorología, Ljubljana, Eslovenia, 1-8 de septiembre de 1996. 2: 395 - 401.
- Ley-Garcia, J., F. M. Denegri de Dios, O. García-Cueto, F. R. Venegas-Cardoso, B. Lozano-Rivera, G. Valadez- López, J. A. Moreno-Vega, J. Morachis-Gastélum, H. L. Garcia-Navarro, Y. B. Debo-Montero, y P. Lozano-Rivera. 2011. Atlas de riesgos del municipio de Mexicali, B.C. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/264382791\\_Atlas\\_de\\_riesgos\\_del\\_municipio\\_de\\_Mexicali\\_BC](https://www.researchgate.net/publication/264382791_Atlas_de_riesgos_del_municipio_de_Mexicali_BC) [accessed Feb 20 2018].
- Leyva-Corona, J.C., D. I. Armenta-Castelo, R. Zamorano-Algandar, M. G. Thomas, G. Rincon, J. F. Medrano, F. Rivera-Acuña<sup>1</sup>, J. R. Reyna-Granados, y P. Luna-Nevárez. 2015. Variables climáticas asociadas a la producción de leche en vacas Holstein criadas bajo condiciones de estrés por calor del Valle del Yaqui, México. *Rev. Latinoam. Rec. Nat.* 11 (1): 1-11.
- Macías-Cruz, U., L. Avendaño-Reyes, F. D. Álvarez-Valenzuela, N. G. Torrentera-Olivera, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado-Bosque y A. Correa-Calderón. 2013.



Crecimiento y características de la canal de corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Rev. Mex. Cien. Pecu.* 4: 1-12.

Macías-Cruz U., M. A. Gastelum, F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, R. Díaz, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado, y L. Avendaño-Reyes. 2016a. Effects of summer heat stress on physiological variables, ovulation and progesterone secretion in Pelibuey ewes under natural outdoor conditions in an arid region. *Anim. Sci. J.* 87: 354-360.

Macías-Cruz, U., M. A. López-Baca, R. Vicente, A. Mejía, F. D. Álvarez, A. Correa-Calderón, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado, J. E. Guerra-Liera, and L. Avendaño-Reyes. 2016b. Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *Int. J. Biometeorol.* 60: 1279-1286.

Mader, T. L., and M. S. Davis. 2002. Wind speed and solar radiation correction for the Temperature-Humidity Index. En: *Proc. 16th Cong. Intl. Soc. Biomet. /15th Am. Met. Soc. Conf. Biomet. and Aerobiol.* 154-157. Boston, Mass: AMS.

Mader, T. L. 2003. ambiental estrés en bovinos para carne confinados. *J. Anim. Sci.* 81:110-119.

Mader, T. L., M. S. Davis, J. B. Gaughan and T. M. Brown-Brandl. 2004. Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. En: *26th Agricultural and Forest Meteorology/13th Air Pollution/5th Urban Environment/16th Biometeorology and Aerobiology*, Vancouver, BC Canada. Pp. 6.

Mader, T. L., M. S. Davis, J. B. Gaughan, and T. M. Brown-Brandl. 2005. Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. Meeting abstract. *16th Conference on Biometeorology and Aerobiology*. Vancouver, British Columbia, Canada B3. Cdrom.

Mader, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712-719.

- Mader, T. L., L. J. Johnson, and J. B. Gaughan. 2010. Components of the comprehensive climate index. *J. Anim. Sci.* 2009-2586.
- Magaña-Rueda, V. O. y C. Gay García. 2004. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica.* 65: 7-23.
- Magaña, V., Zermeño, D. Carolina, and Neri, C. 2012. Climate change scenarios and potential impacts on water availability in northern Mexico. *Clim. Res.* 51: 171-184.
- Maia, A. S. C., R. G. DaSilva, and C. M. L. Battiston. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 50: 17- 22.
- Mansilla, V. 1996. Estudio preliminar de algunas variables climáticas sobre la eficiencia reproductiva en vacas Holstein Friesian en la Provincia de Ñuble. Tesis, Universidad de Concepción, Chile.
- Marai, I. F. M., A. A. El-Darawany, A. Fadiel, and M. A. M. Abdel-Hafez. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep. A review. *Small Ruminant Res.* 71: 1-12.
- Marrai, I. F., M. M. S. Ayyat, U. M. Abd, and E. Monem. 2001. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation under Egyptian conditions *Tropic. Anim. Health Prod.* 33: 451-462.
- Mayer, D.G., T.M. Davison, M.R. McGowan, B.A. Young, A.L. Matschoss, A.B. Sala, P.J. Goodwin, N.N. Jonsson, and J.B. Gaughan. 1999. Extent and economic effects of heat loads on dairy cattle production in Australia. *Austr. Vet. J.* 77: 804-808.
- McDowell, R. 1972. *Improvement of Livestock Production in Warm Climates.* W.H. Freeman and Co., San Francisco, CA, USA. Pp. 711.
- McGovern, R. E., and J. M. Bruce. 2000. A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *J. Agric. Eng. Res.* 77: 81-92.

- Meyer, U., M. Everinghoff, D. Gadenken, and G. Flachowsky. 2004. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 90: 117-121.
- Mitloehner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, and J. J. Mcglone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 2327-2335.
- Molina, R., and F. Silva, S. Perilla. 2015. Thermal environment characterization for the bovine cattle ranching in the Valle del Cauca, Colombia. *Act. Agron.* 65 (4): 406-412.
- Debo-Montero, Y. B. 2013. Riesgos derivados de temperaturas extremas: el caso del valle Mexicali. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. B.C, México.
- Morán, D. S., and Y. Epstein. 2006. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for hot/dry and hot/wet climates. *Ind. Health* 3: 399-403.
- Muller, C. J. C., J. A. Botha, W. A. Coetzer and W. A. Smith. 1994. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa.2. Physiological responses. *South African J. Anim. Sci.* 24: 56-60.
- 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.
- NAS, National Academy of Sciences, 2008. Understanding and Responding to climate changes. Washington, USA. Pp.24.
- Navas, P. A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev. Med. Vet.* 19: 113-122.
- NRC, National Research Council. 1981. Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. National Academy Press. Washington DC, USA.

- OEIDRUS, 2012. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Baja California. 2012. SEHA-BC Series Históricas Agrícolas. Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Baja California.
- Oliveira, S., C. Costa, J. Souza, J. Fernandes, A. Maia, and L. Costa. 2014. Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment. *Trop. Anim. Health.* 46(8): 1413-1417.
- OMS, 2008. Cambio climático y salud. Resoluciones y Anexos de la 61ª Asamblea Mundial de la Salud. Ginebra. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza. Mayo 19-24, 2008.
- Patz, J. A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway, y J. A. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature.* 438: 310-317.
- Pavia, E. G., F. Graef. and J. Reyes. 2008. Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. *Int. J. Bioclimatol.* 29: 1324-1329.
- PEACBC, 2009. Plan Estatal de Acción Climática de Baja California. Memorias del Segundo Taller. Febrero 2009, Ensenada, Baja California.
- PEACBC, 2012. Plan Estatal de Acción Climática de Baja California. Secretaria Protección del Ambiente. Mexicali, B.C. UABC.
- Pearce, S. C., N. K. Gabler, J. W. Ross, J. Escobar, J. F. Patience, R. Rhoads, and L. Baumgard. 2013a. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 2108-2118.
- Pearce, S. C., V. Mani, T. E. Weber, R. P. Rhoads, J. F. Patience, L. H. Baumgard, and N. K. Gabler. 2013b. Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 5183-5193.
- PND, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. <http://pnd.presidencia.gov.mx> (consultado 5 mayo 2016).
- Polanco, J. 2004. Diagnóstico socioeconómico y técnico de la ganadería bovina en el área de protección de flora y fauna "Valle de los Cirios". Tijuana, Baja California: COLEF.

- Pritchard, H. D., And D. G. Vaughan. 2007. Widespread acceleration of tidewater glaciers on the Antarctic peninsula. *J. Geoph. Res.* 112: FO3-S29.
- Quiniou, N., J. Noblet, V. Milgen, and S. Dubois. 2001. Modeling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *Br. J. Nutr.* 85:97–106.
- Rendic S., Di Carlo F.J. (1997). Human cytochrome P450 enzymes: a status report summarizing their reactions, substrates, inducers, and inhibitors. *Drug. Metab. Rev.* 29: 413-580.
- Ravagnolo, O., and I. Misztal. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J. Dairy Sci.* 83: 2126-2130.
- Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. *Anim. Res.* 54: 81-93.
- Rhoads, M. L., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, R. J. Collier, S. R. Sanders, W. J. Weber, B. A. Crooker, and L. H. Baumgard, 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin1. *J. Dairy Sci.* 92(5): 1986-1997.
- Roca, A. 2011. Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *Espamciencia* 2(1): 15-25.
- Romanini, C. E. B., I. D. A. Nääs, and D. D'alessandro salgado. 2008. Impact of global warming on brazilian beef production. *Livestock Environment VIII*, 31 August-4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil,701P0408.
- Rosenzweig. C., D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, A. Menzel, T. L. Root, N. Estrella, B. Seguin, P. Tryjanowski, C. Liu, S. Rawlins, and A. Imeson, 2008: Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature.* 453: 353-357.

- Ruiz, C., J. A. G. Medina, J. Grageda, M. M. Silva y G. Díaz. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Sonora (Período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRNO. Cd. Obregón, Sonora, México. Pp. 171.
- Sainz, R. D., V. A. Thompson, L. G. Barioni, T. R. Rumsey, y J. G. Fadel. 2017. Balance térmico en ganado de engorda europeo y cebú. En: XXVII Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, Mexicali, B.C México, 5 y 6 de octubre. Pp.13.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Respuestas del crecimiento a la temperatura. En: Fisiología vegetal. Virgilio González Velásquez. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. Pp. 539-559.
- SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT user's guide software released 9. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scarkett, D., P. Holmes, K. Abbott, S. Jephcott, and B. Barber. 2006. Assessing the economic cost of endemic disease on the profitability of Australian beef cattle and sheep producers—Final Report AHW.087. Meat and Livestock Australia Limited, Nth Sydney NSW 2059 Schmidt-Nielsen K (1975) Animal physiology: adaptation and environment. Cambridge University Press, New York.
- Scharf, M. J. Leonard, R. L. Weaver, T. L. Mader, G. L. Hahn, and D. E. Spiers. 2011. Determinants of bovine thermal response to heat and solar radiation exposures in a field environment. *Int. J. Biometeorol.* 55(4):469 - 480.
- Shultz, K. E., A. R. Rogers, Y. A. Pouloni, N. R. Cox, and C. B. Tucker. 2010. The amount of shade influences on the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy. Sci.* 93: 125-133.
- SEFOA, 2015. Portal de la secretaria de fomento agropecuaria. En [http:// www, sefoa.gob.mx](http://www.sefoa.gob.mx).
- Sen, Z. 2008. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change, and Renewable Energy. London: Springer.

- SIACON, 2011. Sistema de información agroalimentaria de consulta, Software de computadora de México, D.F.
- SIAP, 2008. Cierre de la producción agrícola por cultivo. SAGARPA. México. <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: 09/03/2016.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Product. Sci.* 67: 1-18.
- SMN, 2010. Sistema Meteorológico Nacional. Normales climatológicas. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>. Consultada el 16 de junio de 2017.
- Solano, G. 2010. Programa de transferencia tecnológica cooperativa de productores de leche dos pinos, Costa Rica/. Artículo balance de nutrientes para sistemas agropecuarios sustentables. Disponible en: <http://www.engormix.com>.
- Sosa-Rodríguez, F.S. 2015. Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Rev. Intern. Estad. Geogr.* 6(2):15-23.
- Souza, A., H. G. Pavão, and G. Lastoria. 2010. Modelo de Thom para o zoneamento bioclimático de Mato Grosso do Sul. *Rev. Geo. N. Grande.* 46:137-147.
- Steel, J. H and Torrie .1980. *Principios y Procedimientos de Estadística: Un Enfoque Biométrico (2ª Ed.)*, McGraw-Hill Publishing Co, Nueva York.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. FAO, Rome, Italy.
- Stern, N., 2007, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Great Britain: Cambridge University Press.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how is it measured? *J. Anim. Sci.* 52: 150-153.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy. Sci.* 86: E52-E77.
- Suárez, E., S. Reza, E. Díaz, F. García, I. Pastrana, H. Cuadrado, y M. Espinosa. 2012. Efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento ingestivo en

- bovinos de carne en un sistema intensivo en el Valle del Sinú. *Corpoica*, 13 (2): 207-212.
- Summers, B. A. 2009. Climate change and animal disease. *Vet. Pathol.* 46:1185- 1186.
- Tabachnick, W. J. 2010. Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epistystems in a changing world. *J. Exp. Biol.* 213: 946-954.
- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise.* 12:57-59.
- Thornton, P. K., P. G. Jones, T. Owiyo, R. L. Kruska, M. Herrero, V. Orindi, and S. Bhadwal. 2008. Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. *AfJARE* (2) 1: 24-44.
- Toribio, L. 2012. Sequía deja pérdidas por 15 mmd y viene lo peor. México. Periódico *Excélsior*, 10 de febrero de 2012. Primera plana.
- UNISDR, 2009. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat. Global Assessment Report on disaster risk reduction: risk and poverty in a changing climate. Suiza.
- Valtorta, S. E., P. E. Leva, M. R. Gallardo, H. C. Castro, y O. E. Scarpati. 1999. Producción lechera: Evaluación de dos índices de estrés para analizar impactos ambientales. En: *Actas XI Congreso Brasileiro de Agrometeorología y II Reunión Latinoamericana.* 786-791.
- Van Dijk, J., Sargison, N. D. Kenyon, and F. Skuce, P. 2010. Climate change and infectious disease: Helminthological challenge to farmed ruminants in temperate regions. *Animal.* 4: 377-392.
- Vicente-Pérez, R., L. Avendaño-Reyes, F. D. Álvarez, A. Correa-Calderon, C. A. Meza-Herrera, M. Mellado, J. A. Quintero, y U. Macías-Cruz. 2015. Comportamiento productivo, consumo de nutrientes y productividad al parto de ovejas de pelo suplementadas con energía en el parto durante verano e invierno. *Arch. Med. Vet.* 47: 301-309.



- Villegas, G. L., A. Bolanos, y V. Olguín. 2001. *La Ganadería en México*. Editorial Plaza y Valdés. México, D.F.
- Vitali, A., Segnalini, M. Bertocchi, L. Bernabucci, U. Nardone, and A. Lacetera, N. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 3781-3790.
- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Manzel, C. Parmesan, J. C. Trevor, J. M. Fromentin, O. H. Guldberg, and F. Bairlin. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Wegner, K., C. Lambertz, G. Daş, G. Reiner and M. Gauly. 2014. Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate. *Animal* 9: 1-8.
- West, J. W. 2003. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131-2144.
- Wiersma, F. 2005. Temperature-Humidity Index. In: *Tropical dairy farming: feeding management for the smallholder dairy farmers in the humid tropics*. Ed. John Moran. Landlinks Press. Pp. 275.
- Wilhite, D. A., and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*. 10: 110-120.
- Wittmann, E. J., and M. Baylis. 2000. Climate change: Effects on culicoides -transmitted viruses and implications for the UK. *Vet. J.* 160(2): 107-117.
- Yu, Z. and X. Li. 2015. Recent trends in daily temperature extremes over northeastern China (1960-2011). *Quat. Int.* 380(381):35-48.
- Zimbelman, R. B., R. P. Rhoads, L. H. Baumgard, and R. J. Collier. 2009. Revised temperature humidity index (THI) for high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:1-347.

Zimbelman, R. B., and R. J. Collier. 2011. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. En: Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 19 and 20. Tucson, Arizona. EU. Pp. 111-126.