

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD TERMOREGULATORIA DE LA VACA
CRIOLLA LECHERA DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

por

Juan Carlos García Peña

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

INDUSTRIA PECUARIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

RECINTO DE MAYAGÜEZ

2015

Aprobado por:

Héctor L. Sánchez Rodríguez, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Carmen Santana Nieves, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Carlos J. Cabrera Cabrera, M.S.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Melvin Pagán Morales, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Jocelyn A. Géliga, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

The Criollo cattle from the Caribbean have been suggested as an alternative highly adapted to difficult environmental conditions. However, to our knowledge, there has not been extensive research about its thermoregulatory capacity. The present study aimed to evaluate the effect exerted by the air temperature, relative humidity, thermal humidity index, solar radiation, wind speed, and gust speed over the vaginal temperature of 13 lactating Criollo dairy cows from the Dominican Republic. The environmental conditions and the vaginal temperature were recorded every 5 minutes for 6 consecutive days. The GLIMMIX and CORR procedures of SAS were used to analyze the data (averaged by hour). Because the environmental conditions were greater during the last three days of the study ($P<0.0001$), the study was separated in two periods: COOL (days 1, 2, and 3) and HOT (days 4, 5, and 6). Period and time (hour of the day) interacted to affect the environmental temperature ($P<0.0001$), the relative humidity ($P=0.0334$), the thermal humidity index ($P=0.0002$), the solar radiation ($P<0.0001$), the wind speed ($P<0.0001$), and the gust speed ($P=0.0003$). These interactions were the result differences mostly observed during the afternoon time with air temperature, thermal humidity index, solar radiation, wind speed, and gust speed presenting 4.72°C , 5.17 , 284.68W/m^2 , 0.89 m/s y 2.37 m/s greater during the HOT than during the COOL period, respectively. Also during the afternoon hours the relative humidity was 14.83% lower during the HOT than during the COOL period. Similarly, cows presented greater vaginal temperatures during the HOT than during the COOL period ($P<0.0001$) from 1400-1800h (38.96 ± 0.03 vs. $38.75\pm0.02^{\circ}\text{C}$, respectively). However, this trend was inverted during the morning hours. Greater vaginal temperature values ($P<0.0001$) were observed during the COOL than during the HOT

period from 0200-0400h (38.37 ± 0.02 vs. $38.21 \pm 0.02^\circ\text{C}$) and 0800-1100h (38.60 ± 0.02 vs. $38.44 \pm 0.01^\circ\text{C}$). On average, daily vaginal temperature ranges of $38.38 - 38.79^\circ\text{C}$ and $38.19 - 39.09^\circ\text{C}$ were observed during the COOL and HOT periods, respectively. There was also a smaller association between vaginal temperature and air temperature ($r=0.46$; $P<0.0001$ vs. $r=0.65$; $P<0.0001$), thermal humidity index ($r=0.47$; $P<0.0001$ vs. $r=0.60$; $P<0.0001$), solar radiation ($r=0.34$; $P<0.0001$ vs. $r=0.50$; $P<0.0001$), wind speed ($r=0.35$; $P<0.0001$ vs. $r=0.54$; $P<0.0001$), and gust speed ($r=0.38$; $P<0.0001$ vs. $r=0.51$; $P<0.0001$) during the COOL than during the HOT periods, respectively. Otherwise, the association between the relative humidity and the vaginal temperature was greater during the HOT than during the COOL period ($r=-0.56$; $P<0.0001$ vs. $r=-0.46$; $P<0.0001$). Even with the difficult environmental conditions present in this study, the observed daily vaginal temperature range and the inversion in the vaginal temperature trends suggested that these Criollo cows were highly adapted to these conditions. Future studies should be directed to compare this genotype with the European breeds commonly used for milk production in the tropics.

RESUMEN

El ganado Criollo de los países tropicales caribeños ha sido sugerido como una alternativa altamente adaptada a producir bajo condiciones ambientales estresantes. Sin embargo, según nuestro conocimiento, poco se sabe sobre su capacidad termoreguladora. El presente estudio evaluó el efecto que ejercen la temperatura del aire (TA), la humedad relativa (HR), el índice de temperatura y humedad (ITH), la radiación solar (RS), la velocidad del viento (VV) y la velocidad de ráfaga (VR) sobre la temperatura vaginal (TV) en 13 vacas Criollas lecheras maduras lactantes de la República Dominicana. Para esto se determinaron las condiciones ambientales y la TV cada 5 minutos por 6 días consecutivos. Los datos promediados por hora fueron analizados mediante los procedimientos GLIMMIX y CORR de SAS. Debido a que se observaron condiciones ambientales menos cálidas durante los primeros tres días del estudio ($P<0.0001$), el mismo fue separado en dos periodos: FRESCO (días 1, 2 y 3) y CALIENTE (días 4, 5 y 6). En el presente estudio periodo y hora del día interactuaron para afectar la TA ($P<0.0001$), la HR ($P=0.0334$), el ITH ($P=0.0002$), la RS ($P<0.0001$), la VV ($P<0.0001$) y la VR ($P=0.0003$). Estas interacciones fueron el resultado de diferencias observadas principalmente durante las horas de la tarde con la TA, el ITH, la RS, la VV y la VR presentando en promedio 4.72°C , 5.17, 284.68W/m^2 , 0.89 m/s y 2.37 m/s mayores durante el periodo CALIENTE que durante el FRESCO, respectivamente. También durante las horas de la tarde se observó en promedio un 14.83% menor de HR durante el periodo CALIENTE que durante el FRESCO. Similarmente a las condiciones ambientales, las vacas presentaron mayores valores de TV ($P<0.0001$) durante el periodo CALIENTE que en el FRESCO de 1400-1800h (38.96 ± 0.03 vs. $38.75\pm 0.02^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Sin embargo, este patrón se invirtió en las horas de

mañana. Se observaron mayores valores de TV ($P<0.0001$) durante el periodo FRESCO que durante el CALIENTE en los periodos de 0200-0400h (38.37 ± 0.02 vs. $38.21\pm0.02^{\circ}\text{C}$) y 0800-1100h (38.60 ± 0.02 vs. $38.44\pm0.01^{\circ}\text{C}$). En promedio se observaron rangos en TV diaria de $38.38 - 38.79^{\circ}\text{C}$ y de $38.19 - 39.09^{\circ}\text{C}$ durante los periodos FRESCO y CALIENTE, respectivamente. Se observó también un menor impacto de la TA ($r=0.46$; $P<0.0001$ vs. $r=0.65$; $P<0.0001$), el ITH ($r=0.47$; $P<0.0001$ vs. $r=0.60$; $P<0.0001$), la RS ($r=0.34$; $P<0.0001$ vs. $r=0.50$; $P<0.0001$), la VV ($r=0.35$; $P<0.0001$ vs. $r=0.54$; $P<0.0001$) y la VR ($r=0.38$; $P<0.0001$ vs. $r=0.51$; $P<0.0001$) sobre la TV durante el periodo FRESCO que durante el CALIENTE. Por el contrario, la HR tuvo mayor relación con la TV durante el periodo CALIENTE que durante el FRESCO ($r=-0.56$; $P<0.0001$ vs. $r=-0.46$; $P<0.0001$). A pesar del considerable impacto ejercido por las condiciones ambientales sobre las vacas, la amplitud de valores y la inversión observadas en los patrones de TV sugieren gran aclimatación a condiciones climáticas adversas. Futuros estudios deben ir dirigidos a comparar este genotipo con las razas europeas comúnmente utilizadas en esta parte del mundo.

© Juan Carlos García Peña

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, Antonio Enríquez García y Adalgisa Miguelina Peña, por haberme traído a la vida, por depositar su confianza en mí, por ser el ejemplo que me impulsa a seguir adelante y poder cumplir con una de mis metas. A todos mis familiares y amigos que de una forma u otra me han servido de motivación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por darme la vida. Gracias por poner a tantas buenas personas en mi vida durante todo este proceso. Gracias al Dr. Sánchez, por permitirme ser su estudiante graduado, por su apoyo, su tiempo y por ayudarme a alcanzar esta meta. Gracias a la Dra. Santana y al Dr. Pagán por ser parte de mi comité graduado, por sus consejos, su tiempo y ayuda. Gracias al Ing. Cabrera por ser parte esencial de esta colaboración entre Instituciones y por brindarme su ayuda incondicional en todo momento. Gracias a mis padres y mis hermanos, que a pesar de la distancia siempre conté con su apoyo. Gracias a la universidad ISA, especialmente al Decano Dr. Amable Vásquez y a la Directora del Departamento de Ciencia Animal Rosaura Jiménez, por muy amablemente permitirnos realizar este experimento en sus instalaciones y con sus animales. Gracias a todo el personal del CIMPA, especialmente a Salvador por la gran disposición y ayuda brindada. Gracias al gobierno de la República Dominicana y al CONIAF, bajo la dirección del Dr. Juan Chavez por la confianza depositada en mí y el sustento económico durante todo este proceso. Gracias a todos los compañeros y amigos por su gran ayuda, en especial a Ivan Suero, Silfranís Ovalles, Wilvis Marichal, Irina Toribio, Ivonne Venturas, Juan Cruz, Francisca Vidal, Yency Castillo, Marianela Conce, Ramón Américo, mil gracias.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Radiación solar	4
2.2 Efecto de las condiciones ambientales sobre la temperatura corporal y mecanismos de disipación de calor de la vaca	7
2.3 Utilidad de medir la temperatura corporal.....	11
2.4 <i>Bos indicus</i> vs. <i>Bos taurus</i>	19
2.5 Pelo corto en ganado <i>Bos taurus</i>	20
2.6 Agricultura difícil en el trópico	23
CAPÍTULO 3- MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Facilidades experimentales y animales	25
3.2 Temperatura vaginal	26
3.3 Condiciones ambientales	28
3.4 Análisis estadístico	32
CAPÍTULO 4- RESULTADOS	34
4.1 Análisis preliminar ambiental	34
4.2 Comportamiento de las condiciones ambientales	35
4.3 Relación entre las condiciones ambientales	45
4.4 Temperatura vaginal	52
4.5 Relación entre las condiciones ambientales y la temperatura vaginal.....	54
CAPÍTULO 5-DISCUSIÓN	74
5.1 Comportamiento de las condiciones ambientales	74
5.2 Relación entre las condiciones ambientales	75

5.3 Temperatura vaginal	76
5.4 Relación entre las condiciones ambientales y la temperatura vaginal.....	80
CAPÍTULO 6- CONCLUSIÓN	84
LITERATURA CITADA.....	85

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Intercambio de energía en forma de calor en la superficie terrestre y su impacto sobre las demás condiciones climáticas. Modificado de geiger, 1950.....	5
Figura 2. Predicción del aumento en la temperatura ambiental global durante los próximos 85 años. Tomado de loarie et al., 2009.....	24
Figura 3. Ejemplar de vaca criolla lechera de la república dominicana. Estas son vacas pequeñas con pelaje tan corto que las venas del área abdominal y las arrugas en diferentes partes de su cuerpo, incluyendo la cara y el cuello, son visibles. También, la borla es pequeña, y el testuz tiene la apariencia de haber sido recortado. Su color varía desde crema claro hasta marrón sombreado de negro.....	26
Figura 4. Registrador de temperatura vaginal (tidbit v2 temperature data logger; onset computer corporation, bourne, ma) unido a un dispositivo interno de liberación controlada de progesterona (cidr).....	27
Figura 5. Aplicador de cidr (eazi-breed cidr cattle insert, pfizer ireland, dublin, ireland) utilizado para insertar los termómetros vaginales.	28
Figura 6. (a) anemómetros (wind smart sensor, onset computer corporation, pocasset, ma) y (b) registrador de temperatura y humedad relativa del aire (hobo pro v2 temp/rh data logger, onset computer corporation, pocasset, ma) utilizados en el presente estudio...	30
Figura 7. (a) piranómetros (silicone pyranometer, onset computer corporation, pocasset, ma) y (b) registrador de datos de temperatura y humedad relativa del aire (hobo pro v2 temp/rh data logger, onset computer corporation, pocasset, ma) utilizados en el presente estudio.	31
Figura 8. Valores promedios de temperatura ambiental ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p<0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	37
Figura 9. Valores promedios de humedad relativa ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p=0.0334$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	38
Figura 10. Valores promedios del índice de temperatura y humedad ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p=0.0002$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	40
Figura 11. Valores promedios de radiación solar ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p<0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	42
Figura 12. Valores promedios de velocidad del viento ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p<0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	43
Figura 13. Valores promedios de velocidad de ráfagas de viento ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p=0.0003$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	45

Figura 14. Valores promedios de temperatura vaginal ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos caliente y fresco. Periodo x tiempo ($p < 0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.	53
Figura 15. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	67
Figura 16. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	68
Figura 17. Relación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	69
Figura 18. Relación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	69
Figura 19. Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	70
Figura 20. Relación entre la temperatura vaginal y índice de temperatura y humedad (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	70
Figura 21. Relación entre la temperatura vaginal y la radiación solar (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	71
Figura 22. Relación entre la temperatura vaginal y la radiación solar (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	71
Figura 23. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	72
Figura 24. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	72
Figura 25. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga (promediadas por hora) durante el periodo fresco del presente estudio.	73
Figura 26. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga (promediadas por hora) durante el periodo caliente del presente estudio.	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de temperatura corporal bovina en diferentes áreas anatómicas previamente reportados en ganado lechero de diferentes partes del mundo.	13
Tabla 2. Promedios ($\pm$ error estándar), amplitudes diarias de valores y cantidad de observaciones para las condiciones ambientales existentes durante la presente investigación medidas cada 5 minutos.	35
Tabla 3. Coeficientes de correlación durante las 24 horas del día entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo caliente.	46
Tabla 4. Coeficientes de correlación durante las 24 horas del día entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo fresco.	47
Tabla 5. Coeficientes de correlación durante las horas de luz (de día) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo caliente.	48
Tabla 6. Coeficientes de correlación durante las horas de oscuridad (de noche) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo caliente.	49
Tabla 7. Coeficientes de correlación durante las horas de luz (de día) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo fresco.	50
Tabla 8. Coeficientes de correlación durante las horas de oscuridad (de noche) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo fresco.	51
Tabla 9. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	56
Tabla 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	58
Tabla 11. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	60
Tabla 12. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la radiación solar en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	62
Tabla 13. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	64
Tabla 14. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso durante los periodos caliente y fresco.	66

LISTA DE ABREVIATURAS

PR = Puerto Rico

RD = República Dominicana

TA = Temperatura del aire

HR = Humedad relativa

ITH = Índice de temperatura y humedad

RS = Radiación solar

VV = Velocidad del viento

VR = Velocidad de las ráfagas de viento

TV = Temperatura vaginal

FRESCO = Periodo que comprendió los días 1, 2 y 3 del presente estudio donde se observaron condiciones ambientales significativamente menos cálidas

TRANSICIÓN = Periodo que comprendió el día 4 del presente estudio donde se observaron condiciones ambientales intermedias

CALIENTE = Periodo que comprendió los días 4, 5 y 6 del presente estudio donde se observaron condiciones ambientales significativamente más cálidas

CIMPA = Centro de Investigación y Mejoramiento de la Producción Animal

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN

En PR y RD las razas *Bos taurus*, principalmente utilizadas actualmente para producción de leche, han sido originadas en países no tropicales, siendo el mayor ejemplo la raza Holstein. Esta raza fue originada en Holanda (Asociación Holstein de Estados Unidos de América, 2014), una región que se caracteriza por tener un clima templado (Britton, 2010). Debido a haber sido seleccionadas en dicho medioambiente, este ganado posee adaptaciones que le ayudan a tolerar bajas temperaturas. Una de estas adaptaciones es la presencia de un pelaje relativamente largo y denso (Riera et al., 2013). Desgraciadamente esto resulta en que en países tropicales, como República Dominicana y Puerto Rico, estos animales se encuentren constantemente bajo la influencia del estrés por calor.

Las vacas son animales homeotermos (Berman, 2011). Esto implica, entre otras cosas, que para mantener una fisiología apropiada ellas deben mantener su temperatura corporal dentro de una amplitud de valores relativamente pequeña (Bianca, 1968; Berman, 2011). Valores de temperatura corporal por encima (hipertermia) o por debajo (hipotermia) de esta amplitud resultan en problemas fisiológicos que pueden resultar hasta en la muerte en casos extremos (Bianca, 1968; Silanikove, 2000). La vaca tiene dos fuentes de calor corporal, el calor interno, producido en sus reacciones metabólicas; Gomes, 1999; García, 2004) y el calor externo, proveniente del medio ambiente (García, 2004; Alava, 2009). En ambientes cálidos, para tratar de mantener su temperatura corporal en valores saludables, la vaca emplea diversos mecanismos de disipación de calor, incluyendo: evaporación, conducción, convección y radiación (West, 2003). Sin embargo, cuando la suma del calor

interno y el calor externo sobrepasan la capacidad de disipar calor por parte de la vaca, esta entra en estrés por calor, resultando en un aumento en su temperatura corporal (Lippke, 1975; West, 2003). Esto es de suma importancia debido a que un aumento en la temperatura corporal por encima de su amplitud normal está negativamente relacionado con el consumo de materia seca (Beatty et al., 2006), la eficiencia de producción de leche (West, 2003; Farooq et al., 2010) y el desempeño reproductivo (Jordan, 2003). Aún más, en climas tropicales como el nuestro, este problema es de naturaleza crónica (ocurre durante todo el año), por lo que se hace necesario evaluar posibles alternativas para minimizar el impacto negativo del estrés por calor y asegurar un abasto de comida estable para la población humana en estas regiones.

Además, el aumento en temperatura global observado durante el último siglo, asociado con el “efecto de invernadero” y el “calentamiento global” (Root et al., 2003), y que se proyecta continuará más allá de los próximos 100 años (Lambeck, 2010; Loarie et al., 2009), está teniendo un impacto considerable sobre la agricultura mundial (Mendelsohn et al., 1994). Estos fenómenos expandirán lo que hoy día conocemos como trópico y subtrópico en el globo terrestre. Por ende, en el futuro una mayor cantidad de la población humana mundial dependerá de la agricultura para poder sobrevivir en países con condiciones calientes y húmedas. Por lo tanto, para poder mantener una producción animal eficiente y capaz de sostener la población humana es necesario considerar la tolerancia al estrés por calor de las razas de ganado existentes en los países tropicales.

Atendiendo esta problemática, diversos autores han evaluado varias razas o cruces en cuanto a su efecto sobre la termotolerancia en escenarios cálidos. Las razas cebuínas (*Bos indicus*), las cuales poseen características que les adaptan mejor a ambientes cálidos (Hansen, 2004), incluyendo la presencia de un pelaje corto (McDowell et al., 1996), han

sido extensivamente cruzadas con las razas lecheras europeas en países en desarrollo alcanzando mayor termotolerancia en la progenie (Philipsson, 2000). También el Senepol, el cual es una raza *Bos taurus* de pelo corto (Mariasegaram et al., 2007), tipo carne y sumamente adaptada al trópico (Cianzio, 2002 y Hernández et al., 2002), ha sido cruzada con el ganado Holstein en la Florida (EE. UU.) transmitiendo mayor termotolerancia a su progenie (Dikmen et al., 2008 y Dikmen et al., 2014). Por otro lado, en Puerto Rico existe una población de ganado *Bos taurus* lechero (principalmente Holstein y Jersey (Sánchez et al., 2015 y Castro et al., 2015) con un pelaje corto y brillante, también mejor adaptado a nuestras condiciones ambientales que sus contemporáneos de pelo largo y denso.

Adicionalmente, debido a que el ganado Criollo de Latinoamérica ha sido naturalmente seleccionado por siglos bajo las condiciones ambientales cálidas y húmedas de PR y RD y, por ende, aparenta estar sumamente adaptado a nuestro clima (Bethancourt y Toribio, 2013), posiblemente represente una valiosa herramienta de selección para ayudar a aliviar el problema del estrés por calor en la ganadería de leche. Sin embargo, según nuestro conocimiento, muy poco se ha evaluado sobre su capacidad termorreguladora. Por esto, el presente estudio fue dirigido a evaluar el impacto ejercido por las condiciones ambientales sobre la temperatura corporal en la vaca Criolla Lechera de la República Dominicana.

CAPÍTULO 2- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Radiación solar

El término radiación solar se refiere a las radiaciones electromagnéticas que son producidas por el sol (Campillo et al., 2012; Falayi y Rabi, 2012). El sol es el responsable de proveerle luz y calor a la tierra todos los días (Babatunde, 2012a; Falayi y Rabi, 2012). La radiación solar controla el balance de energía en el globo terrestre dirigiendo el comportamiento de las demás variables ambientales (Geiger, 1950; Fuquay, 1981; Campillo et al., 2012). Geiger (1950) describió detalladamente en su libro la relación entre esta y las demás variables ambientales (Figura 2). Parte de la radiación emitida por el sol no alcanza la superficie terrestre, ya que es reflejada y absorbida por los gases contenidos en la atmósfera. Entre los obstáculos que limitan la llegada de la radiación solar a la superficie terrestre se encuentran la presencia de nubes y de polvo en la atmósfera, los cuales tienen la capacidad de reflejar parte de la energía proveniente del sol (Geiger, 1950; Babatunde, 2012b; Campillo 2012). Otro obstáculo lo es la capa de ozono, la cual causa una pérdida considerable en la energía solar que alcanza la tierra (Geiger, 1950). Básicamente esto quiere decir que la cantidad de energía solar que llega a la tierra depende de que tan cargado esté el cielo de vapor de agua, partículas en suspensión y gases (Falayi y Rabi, 2012).

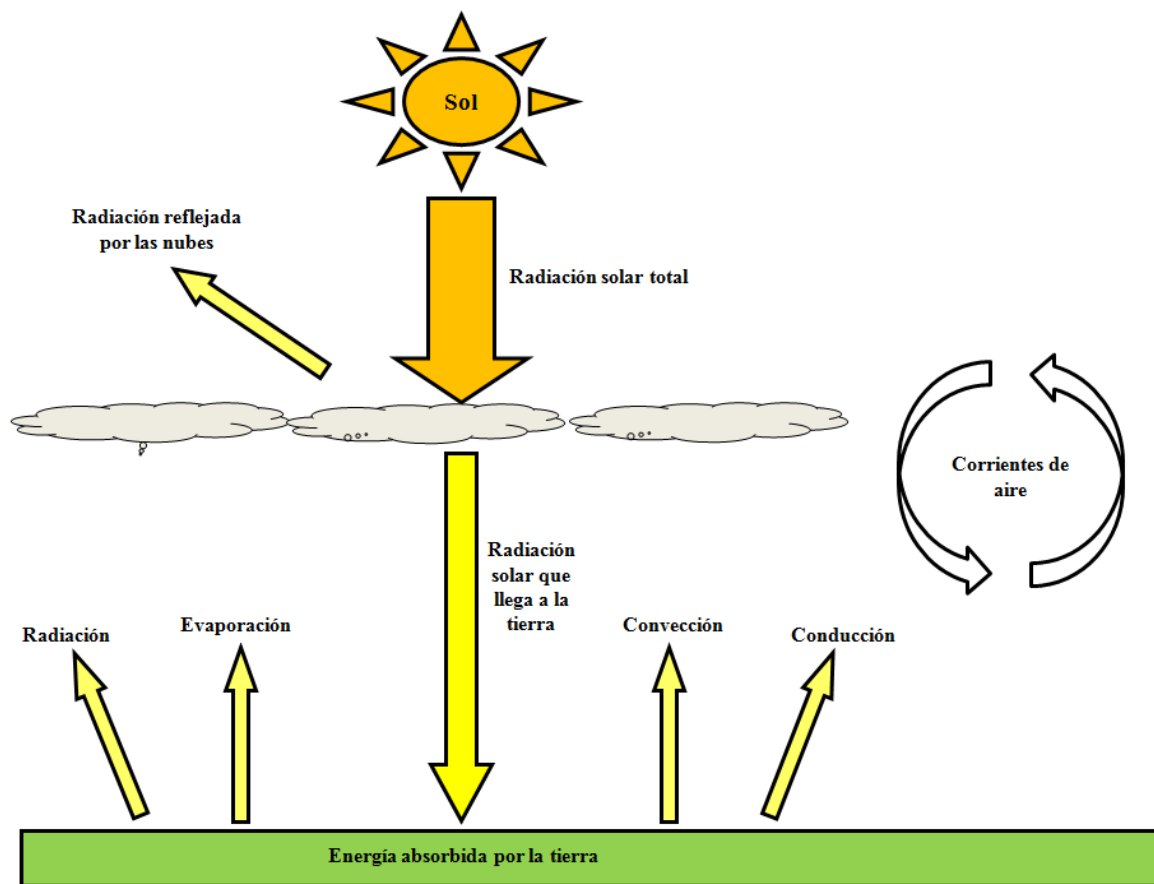


Figura 1. Intercambio de energía en forma de calor en la superficie terrestre y su impacto sobre las demás condiciones climáticas. Modificado de Geiger, 1950.

La parte de la radiación solar que logra atravesar la atmósfera y llegar directamente a la tierra es la responsable de regular la temperatura de la tierra y, subsecuentemente, la temperatura del aire (Geiger, 1950; Campillo et al., 2012; Carrasco et al., 2012). La mayor parte de esta energía que llega a tocar la superficie de la tierra es absorbida por el suelo, mientras el resto es reflejada al medioambiente (Geiger, 1950). La relación entre la temperatura de la superficie de la tierra y la de la capa de aire cercana a esta superficie es la responsable del intercambio de calor en el medio ambiente (Geiger, 1950).

El calor absorbido por la superficie terrestre puede ser disipado al medioambiente a través de varios mecanismos incluyendo: radiación, convección, conducción y evaporación. Estos mecanismos de disipación de calor fueron definidos por Norris y Kunz en el 2012. Conducción es la transferencia de calor entre dos superficies sólidas que están en contacto, donde el calor se mueve de la superficie más caliente a la más fresca. El término convección se refiere a la transferencia de calor dependiente del contacto con fluidos en movimiento, por ejemplo aire o agua, la cual también es dependiente de un gradiente de temperatura. Radiación se refiere a la energía que es emitida por un objeto debido a su temperatura, con una temperatura superficial de -20 a 40°C y con un largo de onda invisible al ojo humano. Por otro lado, evaporación es la transferencia de calor mediante la formación de vapor de agua. Es sumamente importante notar que la eficiencia de estos mecanismos depende directamente de la capacidad que tenga el medio ambiente para recibir calor o vapor de agua en un momento dado (Finch, 1985).

Cuando el calor de la superficie de la tierra es disipado al medio ambiente, este es transferido al aire, afectando directamente la temperatura de este último (Geiger, 1950; Campillo et al., 2012). Así mismo, la parte del calor terrestre que es disipado mediante evaporación de agua en el suelo contribuye a la regulación de la humedad relativa del aire (Geiger, 1950; Valsson y Bharat, 2011). El término humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua existente en el aire, relativa a la capacidad máxima de retención que tiene este a una temperatura dada (Allen et al., 1998). A medida que el aire se calienta, más se separan sus moléculas dando mayor cabida para acomodar vapor de agua (Valsson y Bharat, 2011). Es por esto que existe una relación negativa entre la temperatura del aire y la humedad relativa, es decir, bajo nuestras condiciones ambientales tropicales, a medida que la temperatura del aire aumenta durante el día, más espacio disponible hay para

retención de vapor de agua y, por lo tanto, menor el porcentaje de espacio ocupado a una cantidad fija de vapor de agua.

El calor disipado de la superficie terrestre al medioambiente calienta el aire, reduciendo su densidad (Geiger, 1950; Valsson y Bharat, 2011). Este aire menos denso asciende en la atmósfera siendo sustituido por aire a menor temperatura proveniente de capas superiores y dando paso al desarrollo de corrientes de aire, es decir, controlando la incidencia del viento y sus ráfagas (Valsson y Bharat, 2011). Por lo tanto, podemos concluir que la radiación solar es la fuente de energía que controla el flujo de calor en el globo terrestre, controlando de esta forma a las demás variables ambientales.

2.2 Efecto de las condiciones ambientales sobre la temperatura corporal y mecanismos de disipación de calor de la vaca

A través de los tiempos el ser humano ha enfatizado consistentemente en mejorar genéticamente la capacidad de producción de leche de la vaca, olvidando en muchos casos el mejorar su capacidad termoreguladora (Kadzere et al., 2002; West, 2003). Esta selección para producción de leche conlleva una considerable mayor producción de calor metabólico, haciendo a la vaca más susceptible al calor (West, 2003). Adicionalmente al calor proveniente del metabolismo de la vaca, las condiciones ambientales juegan un papel sumamente importante en cuanto a la capacidad termoreguladora de estos animales. Por ejemplo, se ha reportado que cuando la temperatura del aire alcanza o supera los 26°C, la termorregulación de la vaca se afecta adversamente (Kadzere et al., 2002; West, 2003). Del mismo modo, valores de ITH iguales o mayores de 68-72 son considerados como condiciones ambientales estresantes para la vaca lechera (Armstrong, 1994; Ravagnolo et al., 2000; Zimbelman et al., 2009).

Debido a que el estrés por calor tiene un impacto negativo altamente significativo sobre la producción y reproducción del ganado lechero (Kadzere et al., 2002; Jordan, 2003; West, 2003) y a que se espera que en el futuro las condiciones ambientales globales se tornen más adversas (Loarie et al., 2009), se han empleado diferentes índices para estimar el grado de estrés por calor en el ganado. El más común de estos es el ITH (Gantner et al., 2011). Este índice es el producto de la combinación de la temperatura del aire y la humedad relativa (Berman, 2005), esto debido al rol significativo que ejerce esta última sobre la capacidad de la vaca para disipar calor a través de evaporación. Sin embargo, la relación entre el ITH y la temperatura del aire es una sumamente alta y significativa (Lefcourt y Adams, 1996; Sánchez et al., 2008; Dikmen y Hansen, 2009), lo que significa que ambas variables ambientales nos brindan información similar sobre el efecto del clima sobre la termoregulación en la vaca.

Las vacas tratan de mantener un equilibrio entre el calor que ganan y el que pierden al medio ambiente mediante la utilización de varios mecanismos de disipación, incluyendo la conducción, la convección, la radiación y la evaporación (Kadzere et al., 2002; West, 2003). El resultado neto de esta interacción con el medioambiente es el que controla si la vaca es capaz de mantener su temperatura corporal o si la misma aumenta más allá de sus valores saludables. Estos mecanismos de disipación de calor fueron discutidos por Kadzere et al. (2002), por lo que en este párrafo, si no se indica de otra forma, la siguiente revisión proviene de su artículo. El intercambio de calor mediante conducción toma lugar mediante el contacto físico entre dos objetos o dos cuerpos. En el caso de la vaca, este intercambio conductivo de calor ocurre mediante el contacto cercano entre su cuerpo y materia que no está en movimiento, incluyendo la capa de aire estático que rodea a la vaca o el contacto con otro objeto, como el suelo o el lodo. Esta transferencia de calor depende del gradiente

de temperatura entre el cuerpo de la vaca y la superficie en contacto, así como de la capacidad de conducción de los tejidos corporales de la vaca y la de la superficie con la que está en contacto. Si la temperatura del aire o del objeto que está en contacto con la vaca es menor que la de su cuerpo, entonces las vacas pueden disipar calor por conducción. Sin embargo, a medida que la temperatura ambiental aumenta, este gradiente disminuye haciendo más difícil el disipar calor eficientemente. La vaca también puede intercambiar calor por convección. En este caso, el término convección se refiere al intercambio de calor entre la vaca y algún fluido que se encuentre en movimiento sobre la superficie de esta, el cual también es dependiente del gradiente existente. Ejemplo de esto es el efecto de la corriente de aire creada por abanicos para ayudar a refrescar las vacas. Este mecanismo también puede ser parte importante del intercambio de calor durante la respiración de la vaca, ya que la temperatura del aire inspirado es igualada a la del cuerpo y este calor es removido al medio ambiente durante la exhalación (Yousef, 1985). También, el viento fresco ayuda a los animales a remover calor de la piel, jugando un rol muy importante en la disipación de calor por convección (Norris y Kunz, 2012). Es importante notar también que el pelaje del animal puede representar una barrera de aislamiento entre la superficie de la piel y las corrientes de aire, disminuyendo la eficiencia de la pérdida de calor por convección. Dentro de las diferentes formas de radiación con potencial de afectar la capacidad termoreguladora del animal se encuentran la infrarroja y la solar (Norris y Kunz, 2012). El término radiación infrarroja se refiere a la energía que es emitida por un objeto debido a su temperatura (Norris y Kunz, 2012) por lo que el que la vaca gane o pierda calor por este mecanismo depende de la temperatura, textura y color de su cuerpo y de los objetos que la rodean. Esta también depende de un gradiente de temperatura, es decir, la transferencia del calor radiante entre cuerpos ocurre del cuerpo más caliente al más

frío (Esmay, 1969). Así los cuerpos ganan o pierden calor radiante a través de absorción o emisión de radiación infrarroja. Otro tipo de radiación con un impacto sumamente significativo desde el punto de vista de la termorregulación en la vaca lo es la radiación solar, la cual es sumamente importante en los trópicos.

La conducción, convección y radiación son mecanismos sumamente importantes para la termorregulación, sin embargo, la evaporación es el principal mecanismo utilizado por la vaca para la disipación de calor en ambientes con estrés por calor (Finch, 1985; Kadzere et al., 2002). Este mecanismo también depende de un gradiente, en este caso un gradiente de humedad. Esto quiere decir que el mismo posee mayor eficiencia en ambientes con baja humedad y alta temperatura ambiental. Cuando la vaca entra en estrés por calor, la evaporación toma lugar por medio de la sudoración y la jadeo, donde inicialmente ocurre una mayor actividad en la primera y a medida que se agudiza el estrés, aumenta el uso de la segunda (McLean, 1963). La evaporación es facilitada por el viento, permitiendo una mejor disipación de calor ayudando así a reducir el estrés por calor (Mader et al., 1999). Cuando existen corrientes de aire o viento, la pérdida de calor por evaporación va de la mano con el mecanismo de convección, ya que ambas dependen grandemente de la velocidad del viento. De hecho, el viento puede causar una reducción de la temperatura corporal interna y de la piel de la vaca (Ittner et al., 1951).

El centro del cuerpo del animal lleva el calor hasta la piel mayormente vía conducción, luego el paso de calor hasta el medio ambiente dependerá de un gradiente entre la piel y el aire (Finch, 1985; Berman et al., 1985). Este paso de calor de la piel al medioambiente puede lograrse a través de mecanismos no evaporativos como lo son la convección y la radiación (Finch, 1985). Sin embargo, estos presentan la desventaja de que son altamente dependientes de un gradiente en temperatura (Finch, 1986; Hansen y

Aréchiga, 1999; Kadzere et al., 2002). Esto hace que la pérdida de calor dependa más de la vasodilatación periferal y de las vías evaporativas (Berman et al., 1985).

La humedad Relativa actúa sinérgicamente con la temperatura del aire para potencializar el estrés por calor en el ganado (Fuquay, 1981; West, 2003). Esto es así debido a que, cuando esta aumenta, minimizan la capacidad del ganado para perder calor a través de la piel y de las vías respiratorias (Blackshaw y Blackshaw 1994; Gomes, 2006). Esto es debido a que la cantidad de calor corporal que se puede eliminar en forma de vapor de agua depende directamente del gradiente de presión de vapor (Arias et al., 2008) y del gradiente de temperatura que estén presentes entre el animal y su medio ambiente.

2.3 Utilidad de medir la temperatura corporal

Por años diversos autores se han dedicado a estudiar la temperatura corporal de la vaca. Esta es de gran utilidad ya que nos puede brindar información sobre el estado de salud del animal (Hovinen et al., 2008; Adams et al., 2013; Liang et al., 2013), sobre su estado nutricional (Brosh et al., 1998; Drackley et al., 2003; Sánchez et al. 2008), su producción de leche (Settivari et al., 2007; Liang et al., 2013), su estado reproductivo (Suthar et al., 2011; Suthar et al., 2012) y su estado metabólico (Magdub et al., 1982).

La tabla 1 presenta una recopilación de diferentes métodos reportados en la literatura para determinar o estimar la temperatura corporal en el ganado. Estos métodos de medir la temperatura corporal pueden ser ubicados una de las siguientes clasificaciones: temperatura corporal interna o temperatura corporal superficial. Dentro de la temperatura corporal interna podemos mencionar: la vaginal (Alava et al., 2009; Dikmen et al., 2014; Castro et al., 2015; Sánchez et al., 2015), la rectal (Umphrey et al., 2001; Hernández et al.,

2002; Olson et al., 2002; Alava et al., 2009), los implantes en la ubre (Bitman et al., 1984), los bolos retículo-ruminales (Bewley et al., 2008), los implantes en la cavidad abdominal (Brown Brandl et al., 2005) y los implantes en la cavidad peritoneal (Lefcourt y Adams, 1996). Además, otros investigadores han tratado exitosamente de predecir la temperatura corporal interna a través de la temperatura de la leche (West et al., 1999; West et al., 2003). La temperatura corporal superficial ha sido evaluada sobre el pelaje en el cuello, flanco y nalga (Johnston et al., 1963; Di Costanzo et al., 1997; Gomes y Campos, 2011), sobre la piel (Umphrey et al., 2001) y en toros sobre el escroto sin afeitar (Johnston et al., 1963).

Tabla 1. Valores de temperatura corporal bovina en diferentes áreas anatómicas previamente reportados en ganado lechero de diferentes partes del mundo.

Genotipo	TEMPERATURA CORPORAL INTERNA				
	País	^a Condiciones ambientales	Área anatómica	Temperatura corporal, °C	Referencia
Jersey Pelonas	Puerto Rico	$63.47 \leq \text{ITH} \leq 81.77$	Vaginal	39.08	Castro et al., 2015
Jersey Regulares	Puerto Rico	$63.47 \leq \text{ITH} \geq 81.77$	Vaginal	39.26	Castro et al., 2015
Holstein Pelonas	Puerto Rico	$67.5 \leq \text{ITH} \leq 79.7$	Vaginal	38.60	Sánchez et al., 2015
Holstein Regulares	Puerto Rico	$67.5 \leq \text{ITH} \leq 79.7$	Vaginal	38.69	Sánchez et al., 2015
Senepol x Holstein Pelonas	Florida, EE. UU.	$73.5 \leq \text{ITH} \leq 81.5$	Vaginal	38.5	Dikmen et al., 2014
Senepol x Holstein Regulares	Florida, EE. UU.	$73.5 \leq \text{ITH} \leq 81.5$	Vaginal	39.5	Dikmen et al., 2014
Senepol x Holstein Pelonas	Florida, UU.EE.	$68.11 \leq \text{ITH} \leq 77.77$	Vaginal	39.3	Alava et al., 2009
Senepol x Holstein Regulares	Florida, UU.EE.	$68.11 \leq \text{ITH} \leq 77.77$	Vaginal	39.6	Alava et al., 2009
Holstein (toros)	Puerto Rico	ITH = 81.2	Rectal	39.9	Hernández et al., 2002

Senepol x Holstein, Pelonas	Florida, EE.UU.	$21 \leq TA \leq 35$	Rectal	38.99	Olson et al., 2002
Senepol x Holstein, Regulares	Florida, EE.UU.	$21 \leq TA \leq 35$	Rectal	39.32	Olson et al., 2002
Senepol x Holstein, Pelonas	Florida, EE.UU.	$68.11 \leq ITH \leq 77.77$	Rectal	38.6	Alava, 2009
Senepol x Holstein, Regulares	Florida, EE.UU.	$68.11 \leq ITH \leq 77.77$	Rectal	39.0	Alava, 2009
Holstein	Florida, EE.UU.	$24.67 \leq TA \leq 33.17$	Rectal	38.7	Umphrey et al., 2001
Holstein	Maryland, EE.UU.	38.8	Implante en Ubre	38.8	Bitman et al., 1984
Holstein	Indiana, EE.UU.	$20.72 \leq ITH \leq 74.13$	Bolo retículo- ruminal	39.0-39.4	Bewley et al., 2008
Cruces tipo carne (Novillos)	Nebraska, EE.UU.	$59 \leq ITH \leq 86$	Implante en cavidad abdominal	38.0-38.6	Brown Brandl et al., 2005
Cruces tipo carne (Novillos)	Nebraska, EE.UU.	$13 \leq TA \leq 26$	Implante cavidad peritoneal	38.33-39.89	Lefcourt y Adams, 1996

TEMPERATURA CORPORAL SUPERFICIAL					
Genotipo	País	Condiciones ambientales	Área anatómica	Temperatura corporal, °C	Referencia
Holstein	Mossoró, Brazil	$12 \leq TA \leq 35$	Pelo del cuello, flanco y nalga	32.85	Gomes y Campos, 2011
Holstein	Florida, EE.UU.	$24.67 \leq TA \leq 33.17$	Piel	37.2	Umphrey et al., 2001
Holstein (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Piel/pelo del escroto	33.5-38.4	Johnston et al., 1963
Red Sindhi x Holstein (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Piel/pelo del escroto	33.7-37.5	Johnston et al., 1963
Pardo Suizo (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Piel/pelo del escroto	33.1- 37.9	Johnston et al., 1963
Red Sindhi x Pardo Suizo (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Piel/pelo del escroto	32.6-37.3	Johnston et al., 1963
Holstein (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Pelo del flanco	33.8-39.6	Johnston et al., 1963
Red Sindhi x Holstein (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Pelo del flanco	33.8-39.0	Johnston et al., 1963
Pardo Suizo (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Pelo del flanco	34.05-39.6	Johnston et al., 1963

Red Sindhi x Pardo Suizo (toros)	Louisiana, EE.UU.	$27.8 \leq TA \leq 40$	Pelo del flanco	33.83- 39.2	Johnston et al., 1963
Holstein	Missouri, EE.UU	$22.9 \leq TA \leq 31.4$	Pelo de la grupa	31.6-37.2	Di Costanzo et al., 1997
Holstein	Missouri, EE.UU	$22.9 \leq TA \leq 31.4$	Piel del rabo	31.2-37.0	Di Costanzo et al., 1997

PREDICTORES DE TEMPERATURA CORPORAL INTERNA

Genotipo	País	Condiciones ambientales	Área anatómica	Temperatura, °C	Referencia
Holstein	Georgia, EE.UU	$72.1 \leq ITH \leq 83.7$	Leche am ^b	38.6	West et al., 1999
Holstein	Georgia, EE.UU	$72.1 \leq ITH \leq 83.7$	Leche pm ^b	38.8	West et al., 1999
Holstein	Georgia, EE.UU.	Periodo fresco $63.8 \leq ITH \leq 76.6$	Leche	38.9	West et al., 2003
Holstein	Georgia, EE.UU.	Periodo caliente $72.1 \leq ITH \leq 83.6$	Leche	39.4	West et al., 2003
Jersey	Georgia, EE.UU.	Periodo fresco $63.8 \leq ITH \leq 76.6$	Leche	38.5	West et al., 2003
Jersey	Georgia, EE.UU.	Periodo Caliente $72.1 \leq ITH \leq 83.6$	Leche	39.1	West et al., 2003

Nota. Si no se indica de otra forma, los valores presentados son temperaturas corporales en vacas adultas.

^aITH = índice de temperatura y humedad, TA = temperatura ambiental, °C.

^bam = ordeño de la mañana, pm = ordeño de la tarde.

Las técnicas utilizadas para medir temperatura corporal interna en bovinos, incluyendo la rectal y el uso de implantes en diversas regiones anatómicas han resultado útiles, pero con la gran desventaja de ser altamente invasivas y de no ser aptas para estudios que requieran gran cantidad de animales evaluados al mismo tiempo o que requieran una alta frecuencia de toma de datos (Vickers et al., 2010). Además, aunque la temperatura rectal nos permite obtener valores de temperatura corporal interna de forma sencilla y con instrumentos de bajo costo, las contracciones peristálticas del recto, así como el impacto de la restricción física del ganado limitan grandemente la frecuencia y confiabilidad con la cual estas medidas pueden ser tomadas a través del tiempo (Reuter et al., 2010; Vickers et al., 2010). Por otro lado, las temperaturas superficiales (incluyendo las del pelo y de la piel) son afectadas por el medio ambiente en un mayor grado que las del interior del cuerpo, lo cual puede limitar considerablemente su utilidad como índices del estado termal interno del animal (Hahn et al., 1990; Rivera et al., 2013). De hecho Umphrey et al. (2001) reportaron que sus medidas de la temperatura de la piel no fueron repetibles y no estuvieron correlacionadas con la temperatura del interior del cuerpo o con diversos parámetros productivos y fisiológicos. Por otro lado, la temperatura de la leche, debido al alto grado de vascularidad en la glándula mamaria (West et al., 2003), está altamente asociada con la temperatura interna del animal (Igono et al., 1987). Sin embargo, este método tiene dos grandes limitaciones: solo puede ser utilizado en hembras lactantes bajo ordeño automático y la frecuencia con la que se toman las medidas de temperatura corporal depende directamente de la frecuencia y horario de ordeño. Por lo tanto se hace necesario otra forma de evaluar la temperatura corporal del animal evitando o minimizando el impacto de las desventajas previamente mencionadas. La temperatura vaginal representa un método para medir temperatura corporal altamente asociado con la temperatura rectal y que a la vez permite tomar valores

repetidos en el tiempo por periodos extendidos y con mínima invasividad (Vickers et al., 2010), por lo que la misma ha sido extensivamente utilizada en los últimos años.

2.4 *Bos indicus* vs. *Bos taurus*

Las respuestas fisiológicas de adaptación al estrés por calor son las mismas en ganado *Bos taurus* y *Bos indicus*, pero son menos pronunciadas en razas termotolerantes como las *Bos indicus* (Farooq et al., 2010). Esto indica que las razas cebuínas tienen adaptaciones fisiológicas que las hacen tolerar mucho mejor el estrés por calor (Kadzere et al., 2002; Hansen, 2004). Estas diferencias en termotolerancia se extienden hasta el nivel celular. Esto es así porque los efectos deletéreos que tiene una temperatura corporal elevada sobre la función celular son menores en ganado Brahman que en ganado Holstein (Hernández et al., 2002; Lopes et al., 2003). Entre otras adaptaciones, el ganado *Bos indicus* posee un pelaje corto y una alta área superficial de piel con gran concentración de glándulas sudoríparas (McDowell, 1972; Kadzere et al., 2002). De hecho, el ganado Brahman es capaz de mantener menor temperatura rectal que el ganado Holstein bajo condiciones tropicales (Hernández et al., 2002). Sin embargo, este ganado cebuino también presenta desventajas en términos productivos en comparación con las razas *Bos taurus*. Múltiples artículos han reportado producción de carne menos tierna (Crouse et al., 1989; Sherbeck et al., 1996; Ferrell y Jenkins, 1998), menor volumen de leche producida (McDowell et al., 1996) y menor desempeño reproductivo (Randel, 2005) en diversas razas cebuínas en comparación con ganado *Bos taurus*. Es por esto que poder contar con las ventajas del ganado *Bos taurus* en términos de producción y con una superioridad termoregulatoria similar a la del *Bos indicus* sería sumamente provechoso para la agricultura tropical.

Senepol es una raza *Bos taurus* de tipo carne desarrollada en el trópico que posee un pelaje corto y brillante (Cianzio, 2002). Hernández et al. (2002) investigaron acerca del desempeño fisiológico y la conducta de pastoreo de novillas Senepol, Brahman y Holstein en Puerto Rico. En este estudio se observó que las novillas Senepol, fueron capaces de mantener menor temperatura rectal que las novillas Holstein y aún menor que las novillas Brahman. En las novillas Senepol, Brahman y Holstein se observaron temperaturas rectales promedios de 39.1 ± 0.6 , 39.4 ± 0.7 y $39.9 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Adicionalmente se observó que la tasa de respiración fue menor en las novillas Brahman, intermedio para las Senepol, y mayor para las novillas Holstein (Hernández et al., 2002). Por lo tanto, la raza Senepol fue capaz de regular su temperatura corporal de forma similar al ganado *Bos indicus*.

Sin embargo, la raza Senepol es una raza seleccionada para carne, lo cual limita su potencial dentro de un escenario para producción de leche. Afortunadamente las antiguas colonias españolas, incluyendo a República Dominicana y Puerto Rico, tienen ganado *Bos taurus* lechero y Criollo con un pelaje sumamente corto y aparentemente muy adaptadas a nuestro clima.

2.5 Pelo corto en ganado *Bos taurus*

Pocos características específicas han sido identificadas con la capacidad de controlar la tolerancia al calor (Berman, 2011). Una de estas es la que controla la longitud del pelo (“slick hair gene”). Originalmente descrito en el ganado Senepol, este fenotipo ha sido identificado posteriormente en el ganado Carora de Venezuela (Olson et al., 2003) e introducido en el ganado Holstein de la Florida por cruzamiento reciente con toros Carora y Senepol (Dikmen et al., 2008

y Dikmen et al., 2014). En ganado Senepol, este gen ha sido identificado en el cromosoma 20 (Mariasegaram et al., 2007).

En Puerto Rico, fenotípicamente, el ganado lechero (principalmente Holstein y Jersey) ha sido clasificado en dos tipos según el largo de su pelaje: pelonas, cuando se refiere a vacas con un pelo sumamente corto y brillante, y en regulares, para referirse a vacas de pelo normal (Riera et al., 2013). Las vacas Holstein identificadas fenotípicamente como pelonas estadísticamente tienen un menor largo de pelo (Riera et al., 2013) y una menor temperatura vaginal (González et al., 2013) que las vacas identificadas como de pelo regular. Estas diferencias podrían ayudar a explicar las diferencias productivas (Delgado et al., 2014) y reproductivas (visualmente) asociadas a estos tipos de pelo en nuestro país.

En Venezuela, Olson et al. (2003) han demostrado que la raza Carora y sus cruces con ganado Holstein, con pelo corto, poseen un alto grado de tolerancia al calor. En su estudio se observaron una menor temperatura corporal, así como una mayor producción de leche en vacas con pelo corto que en sus contemporáneas de pelo normal. En la Florida, Dikmen et al. (2008) reportaron en cruces Senepol x Holstein (25% Senepol) una menor temperatura corporal en vacas pelonas que en vacas regulares. Sin embargo, no encontraron diferencias en producción de leche entre tipos de pelo. Este mismo grupo (Dikmen et al., 2014) también reportó en ganado Senepol x Holstein (aproximadamente 6% Senepol) una menor temperatura corporal, así como una menor pérdida en producción de leche durante el verano en vacas pelonas que en vacas de pelo normal. Así mismo, en Puerto Rico, en ganado Holstein se ha observado una menor temperatura corporal en vacas pelonas que en vacas normales (González et al., 2013). De igual manera, en vacas Holstein y Jersey puertorriqueñas se ha encontrado mayor producción de leche en animales pelones que en sus contemporáneos de pelo normal (Delgado et al., 2014).

Debido a la evidencia fotográfica y a que los demás países que fueron colonias españolas en el Nuevo Mundo también tienen animales *Bos taurus* de pelo corto (Florio, 2008), nosotros creemos que este fenotipo ha sido heredado del ganado Criollo proveniente de los vacunos que los españoles introdujeron a América (Sánchez-Rodríguez, 2014). Sin embargo, en Puerto Rico, debido a su situación política e histórica, nuestras vacas Criollas han sido intensamente cruzadas con toros de razas europeas, incluyendo Holstein, desde la década de los '50 (Sánchez-Rodríguez, 2014). Debido a esto, actualmente puede ser difícil encontrar ganado Criollo puro en nuestra Isla. Sin embargo, en la República Dominicana se ha mantenido un hato con gran influencia Criolla el cual podría proveer información científica sumamente útil para la agricultura de los países tropicales alrededor del mundo.

El ganado vacuno fue introducido al Nuevo Mundo por los europeos (Scarano, 2008). Los primeros ejemplares llegaron a la isla de la Española (Santo Domingo) en el segundo viaje de Cristóbal Colón en 1493 (Pinzón, 1999). Estos animales fueron liberados en dicha isla donde se reprodujeron sin control de selección artificial para más tarde surtir las demás colonias españolas en el Caribe (Scarano, 2008). De esta forma se dio origen al ganado bovino conocido como Criollo de América latina, el cual se originó de animales *Bos taurus* provenientes de la Península Ibérica y las Islas Canarias (Beteta, 2003). La Secretaria de Estado de Agricultura de República Dominicana (SEA; 1978), describió el ganado Criollo lechero dominicano como el resultado de varios siglos de adaptación al trópico que se inicio desde el descubrimiento de América. El uso de este ganado Criollo dominicano se fue reduciendo a partir del año 1910 debido al inicio de la importación de otras razas de ganado seleccionadas para producir leche (Ottenwalder, 2002). Sin embargo el Centro de Investigación y Mejoramiento de la Producción Animal (CIMPA), se ha dado a la tarea de mantener una población de estos animales, los cuales

han sido descritos en promedio como de 430 kg de peso vivo, altura a la cruz de 130 cm y usualmente de coloración oscura en las pezuñas y parte de la cara (Toribio et al., 2011).

2.6 Agricultura difícil en el trópico

A pesar de la dicha de poder producir durante todo el año, la agricultura tropical presenta una serie de retos sumamente significativos. Desde el punto de vista de la ganadería, nuestra alta radiación solar y temperatura ambiental afectan directa (causando estrés por calor; West, 2003) e indirectamente (disminuyendo la calidad del forraje producido; Stobbs, 1971) al ganado. Adicionalmente el estrés por calor causa una reducción significativa en el consumo de materia seca (Lippke, 1975), resultado de que los animales solo pastoreen durante las horas frescas del día (Stobbs, 1971). Esta reducción en consumo conduce a una subsecuente marcada reducción en producción de leche (West, 2003). Aún más, los modelos matemáticos que predicen los cambios climáticos indican que las condiciones ambientales en los trópicos se exacerbarán y que esta región geográfica cubrirá una mayor parte del globo terrestre en el futuro (Figura 2; Loarie et al., 2009). Esto implica que una mayor parte de la población mundial humana dependerá de la agricultura en los países tropicales para poder sobrevivir. Adicionalmente, el uso de granos como el maíz para la producción de combustible ha reducido drásticamente la disponibilidad de granos para dietas de animales, mientras que ha aumentado considerablemente su costo (Botero, 2008). Todo esto resultará en que la ganadería del futuro dependerá altamente en animales capaces de tolerar condiciones difíciles, resultando necesario un genotipo de ganado que pueda producir eficientemente bajo estas condiciones, probablemente con un pelaje corto (Botero, 2008).

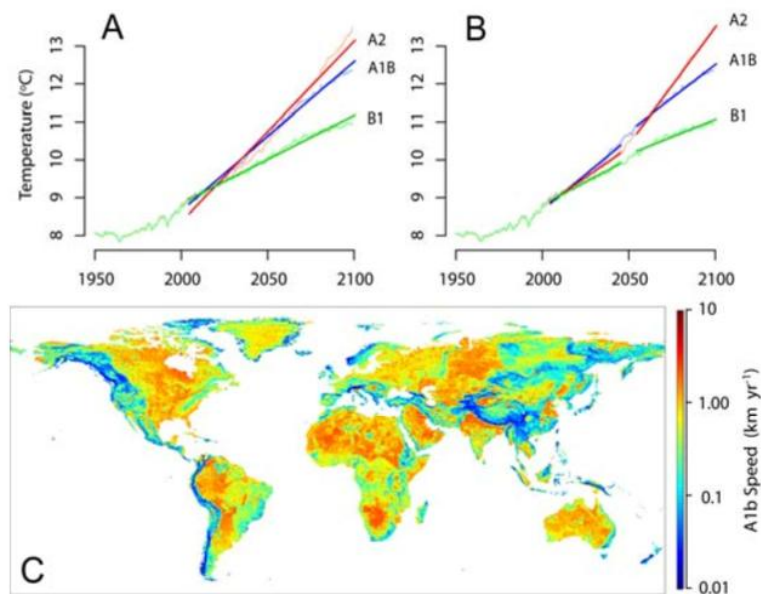


Figura 2. Predicción del aumento en la temperatura ambiental global durante los próximos 85 años. Tomado de Loarie et al., 2009.

CAPÍTULO 3- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Facilidades experimentales y animales

La presente investigación fue llevada a cabo del 29 de mayo al 4 de junio de 2015, en las facilidades del Centro de Investigación y Mejoramiento de la Producción Animal (CIMPA), ubicado en la provincia de Santiago en la República Dominicana. Esta se encuentra en el norte del país y limita por el norte con la provincia Puerto Plata, por el este con las provincias Espaillat y La Vega, por el sur con la provincia San Juan y por el oeste con las provincias Santiago Rodríguez y Valverde (latitud 19° 53' norte, longitud 70° 84' oeste). En el presente estudio se evaluaron 13 vacas Criollas Lecheras de la República Dominicana maduras y lactantes similares en tamaño corporal [3.0 ± 1.21 lactancias, 6.17 ± 1.75 años de edad, 4.42 ± 1.08 meses en leche (promedio $\pm$ desviación estándar); Figura 3].



Figura 3. Ejemplar de vaca Criolla Lechera de la República Dominicana. Estas son vacas pequeñas con pelaje tan corto que las venas del área abdominal y las arrugas en diferentes partes de su cuerpo, incluyendo la cara y el cuello, son visibles. También, la borla es pequeña, y el testuz tiene la apariencia de haber sido recortado. Su color varía desde crema claro hasta marrón sombreado de negro.

3.2 Temperatura vaginal

En la presente investigación se midió la temperatura vaginal de cada vaca (Figura 4) mediante un termómetro a prueba de agua insertado en la vagina (TidbiT v2 Temperature Data Logger; Onset Computer Corporation, Bourne, MA) atado a un CIDR (dispositivo interno de liberación controlada de progesterona; sin progesterona, Eazi-Breed CIDR Cattle Insert, Pfizer Ireland, Dublin, Ireland). Previo a la inserción, los termómetros fueron programados para tomar y almacenar medidas de temperatura vaginal cada 5 minutos durante 7 días consecutivos.

La implantación consistió en la introducción intravaginal del termómetro unido a un CIDR. Los CIDRs fueron autoclaveados y unidos al termómetro mediante un amarre plástico

comercial. Inmediatamente previo a la implantación, todos los dispositivos (CIDR + termómetro vaginal) fueron lavados con agua y jabón quirúrgico (Stone, Stone Mfg & Supply, KC, MO), enjuagados con una solución de clorhexidina (Nolvasan, Fort Dodge Animal Health, Fort Dodge, IA), secados, y ligeramente cubiertos con un lubricante obstétrico estéril (KY Jelly, Reckitt Benckshire Group, Slough, Berkshire, Reino Unido). Las vacas fueron restringidas en horcatas de madera y los dispositivos fueron insertados por la vía intra-vaginal por medio de un aplicador de CIDR (Figura 5). Previo a la inserción, el exterior de la vulva fue lavado con jabón quirúrgico, desinfectado con una solución de clorhexidina y secado con toallas desechables individuales limpias. Las soluciones de clorhexidina y de jabón quirúrgico fueron preparadas siguiendo las recomendaciones de los fabricantes. Los dispositivos fueron insertados 24 h previo al comienzo de la colección de datos para minimizar el impacto de influencias externas relacionadas a la restricción física de las vacas.

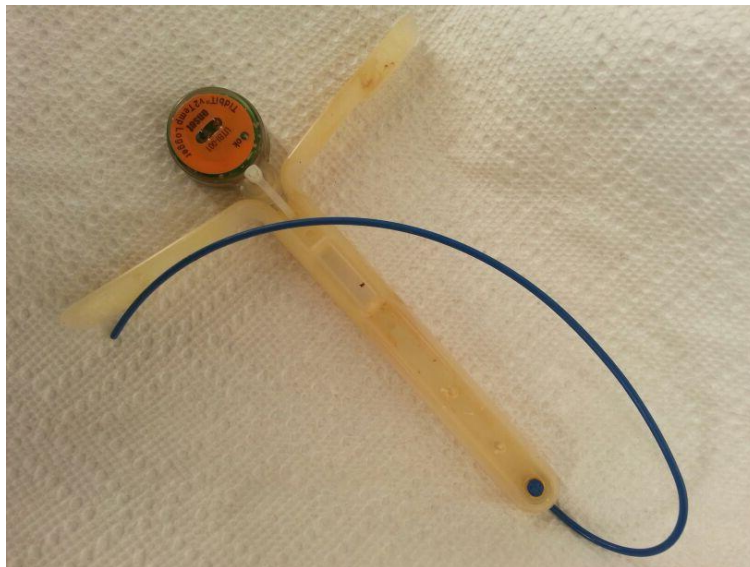


Figura 4. Registrador de temperatura vaginal (TidbiT v2 Temperature Data Logger; Onset Computer Corporation, Bourne, MA) unido a un dispositivo interno de liberación controlada de progesterona (CIDR).



Figura 5. Aplicador de CIDR (Eazi-Breed CIDR Cattle Insert, Pfizer Ireland, Dublin, Ireland) utilizado para insertar los termómetros vaginales.

3.3 Condiciones ambientales

La temperatura (TA) y humedad relativa (HR) del aire (HOBO Pro v2 temp/RH Data Logger, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA; n=2), la radiación solar (RS; Silicone Pyranometer, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA; n=2) y la velocidad del viento (VV) y de las ráfagas (VR) del viento (Wind Smart Sensor, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA; n=2) fueron medidas (Figuras 7 y 8). Estos instrumentos ambientales fueron programados para tomar y almacenar datos cada 5 minutos en sincronía con los termómetros vaginales. Los mismos fueron colocados en el corral de alimentación y en el predio donde las vacas fueron alojadas.

El índice de temperatura-humedad (ITH) fue calculado mediante la ecuación reportada por Vitali et al. (2000):

$$ITH = (1.8 \times TA + 32) - (0.55 - 0.55 \times HR \times [(1.8 \times TA + 32) - 58],$$

donde TA es la temperatura del aire en °C y HR es la humedad relativa en decimal.

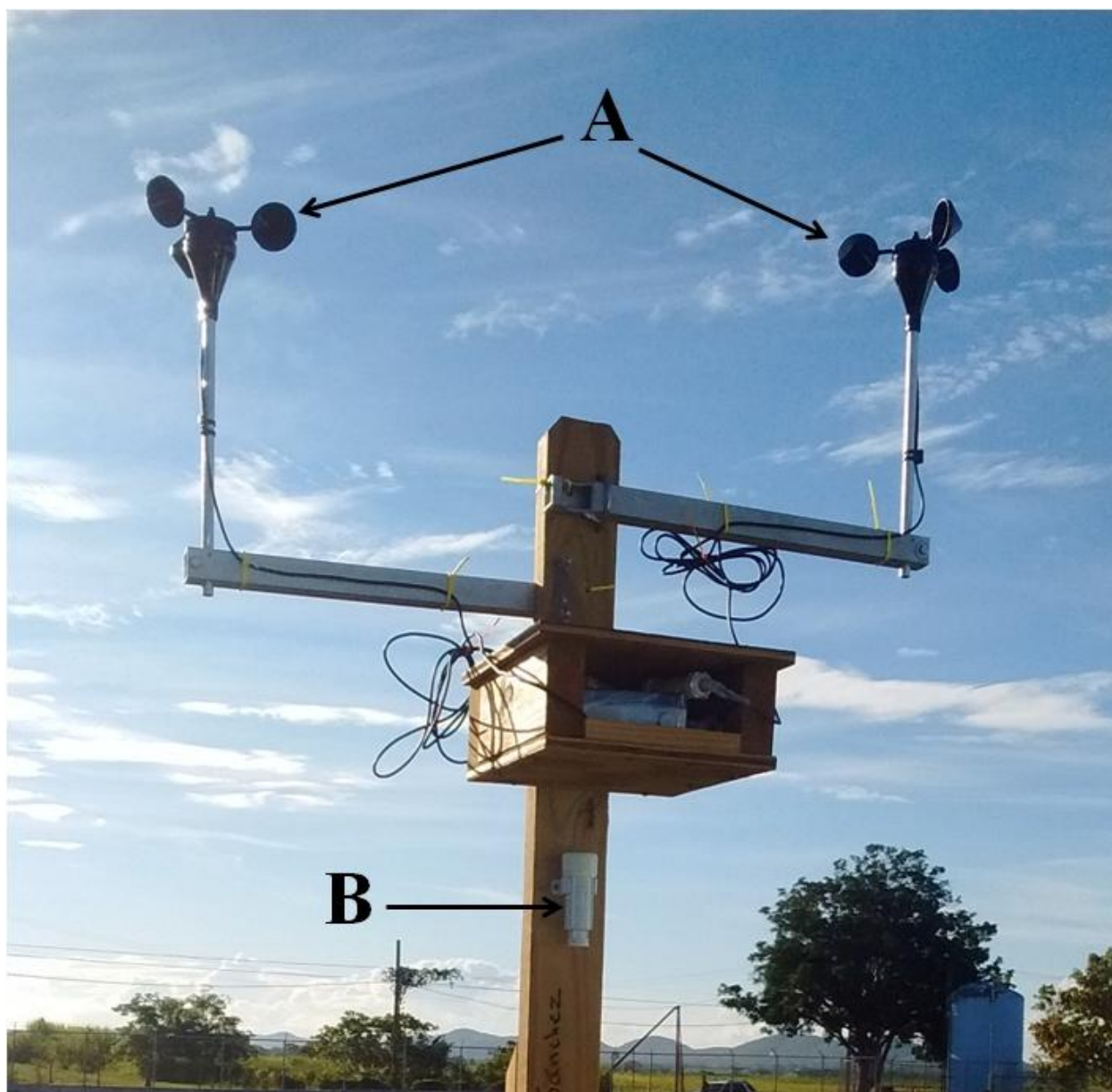


Figura 6. (A) Anemómetros (Wind Smart Sensor, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) y (B) registrador de temperatura y humedad relativa del aire (HOBO Pro v2 temp/RH Data Logger, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) utilizados en el presente estudio.



Figura 7. (A) Piranómetros (Silicone Pyranometer, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) y (B) registrador de datos de temperatura y humedad relativa del aire (HOBO Pro v2 temp/RH Data Logger, Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) utilizados en el presente estudio.

3.4 Análisis estadístico

Una vez recolectados los datos, los mismos fueron procesados y analizados. La organización y limpieza inicial de datos fue llevada a cabo en el programa Microsoft Excel; mientras que la limpieza final y análisis estadístico fue llevada a cabo por el programa SAS. Cada una de las variables medidas (datos crudos para cada termómetro o sensor ambiental) fue graficada cada 5 minutos para detectar y eliminar anomalías (en Microsoft Excel y con el procedimiento SGPLOT en SAS). Luego de promediar todas las variables para obtener un valor por cada hora del estudio, se utilizó el procedimiento GLIMMIX para evaluar el comportamiento de las variables ambientales y de la temperatura vaginal. La temperatura vaginal y cada una de las condiciones ambientales evaluadas fueron incluidas como variables dependientes de sus respectivos modelos. Periodo (“FRESCO” vs. “CALIENTE”) y hora del día (1-24 h) fueron incluidos como efectos fijos de los modelos. La identificación de cada vaca así como el día anidado dentro del periodo fueron utilizados como efectos aleatorios para la temperatura vaginal. Para las condiciones ambientales se utilizaron el número del instrumento de medida y el día anidado dentro del periodo como efectos aleatorios. La ecuación de regresión que describe el comportamiento de la temperatura vaginal en relación a las variables ambientales evaluadas fue determinada mediante un análisis de regresión lineal utilizando el procedimiento REG en SAS con temperatura vaginal como variable dependiente y las seis condiciones ambientales evaluadas como variables independientes del modelo. Las diferencias entre medias fueron determinadas mediante una prueba de LSD en SAS. Adicionalmente, se utilizó el procedimiento CORR en SAS para evaluar la relación entre las variables ambientales y entre estas y la temperatura vaginal en tiempo real y en tiempo de retraso, cada hora, hasta 24 horas. Para tratar de determinar el umbral o valor crítico en las condiciones ambientales donde se observa un cambio

en el comportamiento en temperatura vaginal se llevaron a cabo regresiones polinomiales mediante el procedimiento GLM en SAS con los datos promediados por hora. Se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) para determinar cuál grado (e.g. lineal, cuadrático, cúbico, etc.) describe mejor la relación entre la temperatura vaginal y cada una de las variables ambientales por separado. Los modelos que no aumentaran considerablemente el R^2 fueron eliminados hasta seleccionar el mejor modelo. Diferencias significativas fueron detectadas a un α de 0.05. Si no se indica de otra forma, los datos se presentan como medias $\pm$ el error estándar de la media.

CAPÍTULO 4- RESULTADOS

4.1 Análisis preliminar ambiental

Debido a que los autores de este estudio percibieron temperaturas ambientales más cálidas durante los últimos tres días de la investigación, se llevó a cabo un análisis preliminar para comparar las condiciones ambientales existentes durante los primeros tres días (periodo FRESCO), los últimos tres días (periodo CALIENTE) y el día entre ambos periodos (periodo de TRANSICIÓN). En la Tabla 2 se muestra la comparación entre los periodos CALIENTE, TRANSICIÓN y FRESCO para las diferentes condiciones ambientales medidas cada 5 minutos (sin promediar). Adicionalmente, se presenta la amplitud de valores observada en cada variable ambiental durante cada periodo y la cantidad de observaciones incluidas en cada promedio. Se encontraron diferencias en TA ($P < 0.0001$), ITH ($P < 0.0001$), RS ($P < 0.0001$), VV ($P < 0.0001$) y VR ($P < 0.0001$) con el periodo CALIENTE > TRANSICIÓN > FRESCO (Tabla 2). Sin embargo, la HR también presentó diferencias ($P < 0.0001$), pero con periodo CALIENTE > FRESCO > TRANSICIÓN (Tabla 2). Debido a esto y a la limitada cantidad de observaciones en el periodo de TRANSICIÓN (Tabla 2), el siguiente análisis de datos fue llevado a cabo comparando solamente los periodos CALIENTE y FRESCO.

Tabla 2. Promedios ($\pm$ error estándar), amplitudes diarias de valores y cantidad de observaciones para las condiciones ambientales existentes durante la presente investigación medidas cada 5 minutos.

	Periodo			Valor P
	FRESCO	TRANSICIÓN	CALIENTE	
Temperatura ambiental, °C	25.93 $\pm$ 0.04 ^a	26.38 $\pm$ 0.06 ^b	27.52 $\pm$ 0.04 ^c	<0.0001
Amplitud diaria, °C	21.37-39.57	21.03-37.07	22.11- 37.62	
n	15,840	6,336	14,872	
Humedad relativa, %	82.90 $\pm$ 0.15 ^b	80.21 $\pm$ 0.23 ^a	84.12 $\pm$ 0.15 ^c	<0.0001
Amplitud diaria, %	33.05- 99.62	42.22- 98.88	37.68- 99.50	
n	15,840	6,336	14,872	
ITH	75.90 $\pm$ 0.04 ^a	76.32 $\pm$ 0.06 ^b	78.82 $\pm$ 0.04 ^c	<0.0001
Amplitud diaria	70.36- 87.66	69.73- 86.02	71.55- 93.42	
n	15,840	6,336	14,872	
Radiación solar, W/m²	195.65 $\pm$ 2.52 ^a	236.54 $\pm$ 4.24 ^b	248.90 $\pm$ 2.73 ^c	<0.0001
Amplitud diaria, W/m²	0.6-1276.90	0.6- 1276.90	0.6- 1225.60	
n	15,840	6,336	15,862	
Velocidad del viento, m/s	0.42 $\pm$ 0.004 ^a	0.48 $\pm$ 0.008 ^b	0.92 $\pm$ 0.006 ^c	<0.0001
Amplitud diaria, m/s	0-2.77	0-2.27	0-3.02	
n	15,840	6,336	15,862	
Velocidad de ráfaga, m/s	1.56 $\pm$ 0.01 ^a	1.73 $\pm$ 0.02 ^b	2.78 $\pm$ 0.01 ^c	<0.0001
Amplitud diaria, m/s	0-6.55	0-6.30	0-9.57	
n	15,840	6,336	15,862	

Nota. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas. CALIENTE = días 1, 2 y 3; TRANSICIÓN = día 4 y FRESCO= días 5, 6 y 7.

4.2 Comportamiento de las condiciones ambientales

La figura 8 presenta el comportamiento diario (promediado por hora) de la TA durante los periodos CALIENTE y FRESCO del presente estudio. Periodo del estudio interactuó con la hora del día para afectar la TA ($P < 0.0001$). Durante el periodo CALIENTE la temperatura TA mostró sus valores mínimos promedios diarios entre 2100-0800h (25.92 ± 1.07 - $25.69 \pm 0.33^\circ\text{C}$), seguido de un aumento constante de 0900-1200h (27.22 ± 0.39 - $34.01 \pm 0.29^\circ\text{C}$), alcanzando su

pico máximo de 1300-1700h (34.58 ± 0.41 - $35.08 \pm 1.06^{\circ}\text{C}$) y descendiendo nuevamente de 1800-2000h (32.93 ± 1.20 - $26.97 \pm 0.81^{\circ}\text{C}$). Durante el periodo FRESCO la TA se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios de 1900-0800h (24.56 ± 1.16 - $23.52 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$), aumentó constantemente de 0900-1100h (26.39 ± 0.43 - $30.64 \pm 0.83^{\circ}\text{C}$) hasta alcanzar su pico máximo promedio diario de 1200-1400h (32.96 ± 0.49 - $32.50 \pm 1.26^{\circ}\text{C}$) y luego descender de 1500-1800h (31.32 ± 2.51 - $25.58 \pm 1.09^{\circ}\text{C}$). En el segmento de 1500-2300h se observaron mayores TA promedio en el periodo CALIENTE que en el FRESCO (26.75 ± 0.53 y $24.72 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$, respectivamente). En el periodo de 2400-1400h no hubo diferencias en TA promedio entre los periodos CALIENTE y FRESCO (26.60 ± 0.04 y $26.11 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$, respectivamente).

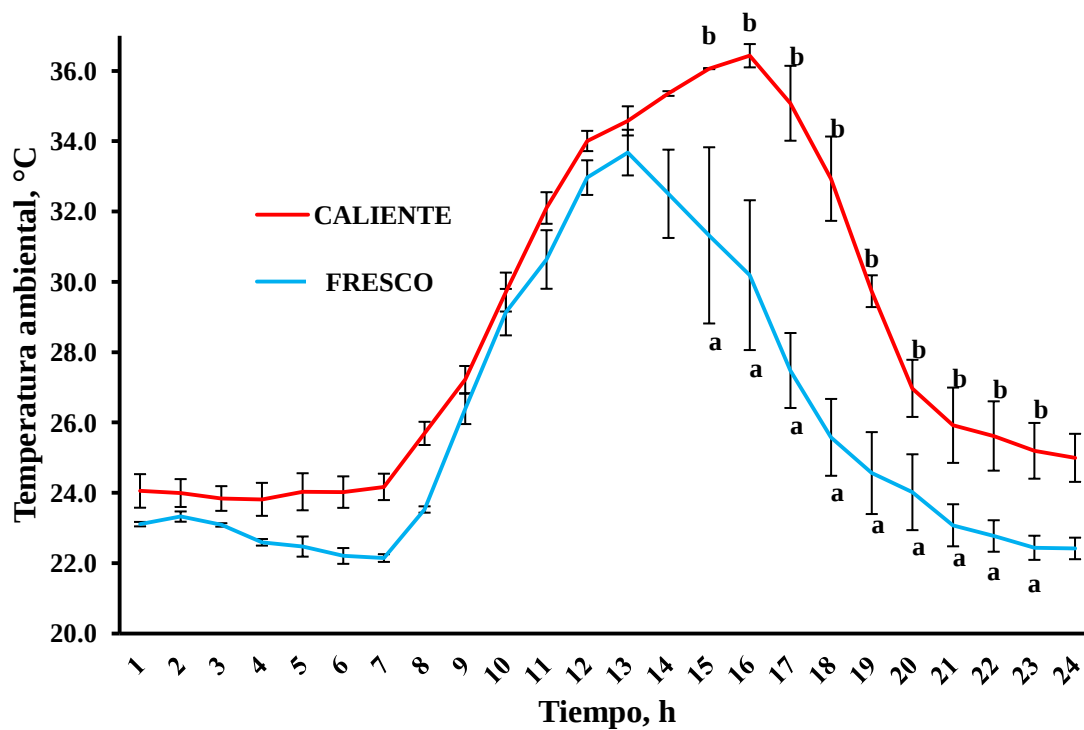


Figura 8. Valores promedios de temperatura ambiental ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P < 0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

La figura 9 presenta el comportamiento diario (promediado por hora) de la HR en los periodos CALIENTE y FRESCO del presente estudio. Hubo una interacción ($P = 0.0334$) entre periodo del estudio y hora del día afectando la HR. En el periodo CALIENTE la HR mostró sus valores promedios máximos diarios de 2000-0900h (83.08 ± 5.72 - $88.19 \pm 4.74\%$), para luego descender de 1000-1200h (82.13 ± 6.63 - $69.93 \pm 7.39\%$), hasta alcanzar sus valores mínimos diarios de 1300-1800h (59.41 ± 8.65 - $65.17 \pm 10.29\%$) y luego ascender durante los valores contenidos en las 1900h ($73.64 \pm 7.11\%$). Durante el periodo FRESCO la HR se mantuvo constante en sus valores máximos promedios diarios de 1700-0900h (73.83 ± 5.79 - $86.41 \pm 1.95\%$), disminuyó consistentemente de 1000-1100h (73.98 ± 2.79 - $66.43 \pm 3.41\%$) hasta alcanzar su pico mínimo promedio diario de 1200-1500h (57.12 ± 1.96 - $62.09 \pm 9.80\%$) y luego ascender en los valores

contenidos en las 1600h ($65.70 \pm 8.65\%$). Se observaron diferencias en HR durante las 1200h con periodo CALIENTE > FRESCO (69.93 ± 7.39 vs. $57.12 \pm 1.96\%$, respectivamente) y de 1600-1900h, con periodo FRESCO > CALIENTE (77.52 ± 3.52 vs. $64.21 \pm 4.51\%$, respectivamente). Durante el resto del día no se observaron diferencias en HR entre los periodos CALIENTE y FRESCO (88.41 ± 0.14 y $85.43 \pm 0.16\%$, respectivamente).

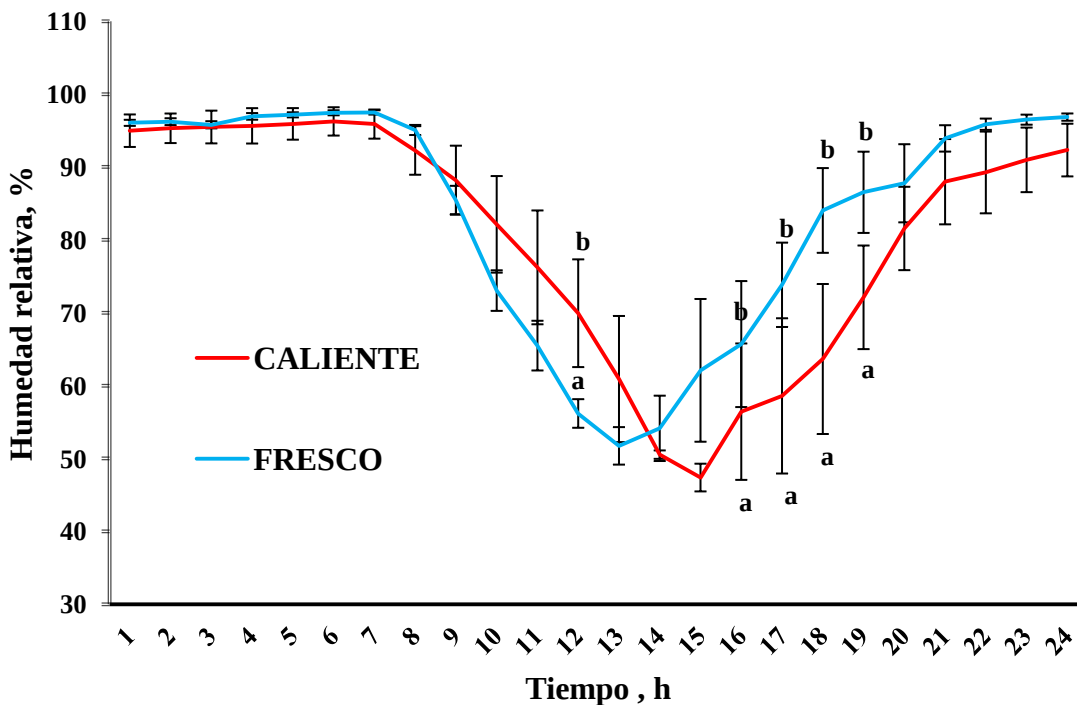


Figura 9. Valores promedios de humedad relativa ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P=0.0334$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

La figura 10 presenta las curvas diarias (promediadas por hora) del ITH durante los diferentes periodos del presente estudio. Se observó una interacción entre periodo del estudio y hora del día afectando el ITH ($P=0.0002$). Durante el periodo CALIENTE el ITH mostró sus valores mínimos promedios diarios entre 2100-0700h (76.63 ± 1.47 - 75.09 ± 0.60), seguido de un

aumento constante de 0800-1000h (77.32 ± 0.36 - 82.60 ± 0.52), alcanzando su pico máximo de 1100-1800h (85.50 ± 1.07 - 83.93 ± 0.51) y descendiendo nuevamente de 1900-2000h (80.73 ± 0.37 - 77.68 ± 1.27). Durante el periodo FRESCO el ITH se mantuvo en sus valores mínimos promedios diarios de 2100-0700h (72.96 ± 0.88 - 71.20 ± 0.22), aumentó constantemente de 0800-1000h (73.44 ± 0.15 - 80.12 ± 0.63) hasta alcanzar su pico máximo promedio diario de 1100-1600h (81.22 ± 0.69 - 80.07 ± 1.88) y luego descender de 1700-2000h (77.73 ± 0.95 - 73.78 ± 1.22). Se observaron diferencias entre periodos en los segmentos de 0600-0800h (75.76 ± 0.42 vs. 71.98 ± 0.34), 1100-1200h (86.45 ± 0.95 vs. 82.12 ± 0.50) y 1500-2400h (80.30 ± 0.80 vs. 75.27 ± 0.54) con periodo CALIENTE > FRESCO. El resto de las 24 horas del día no se observaron diferencias entre los periodos CALIENTE y FRESCO (77.64 ± 0.66 y 76.79 ± 0.75 , respectivamente).

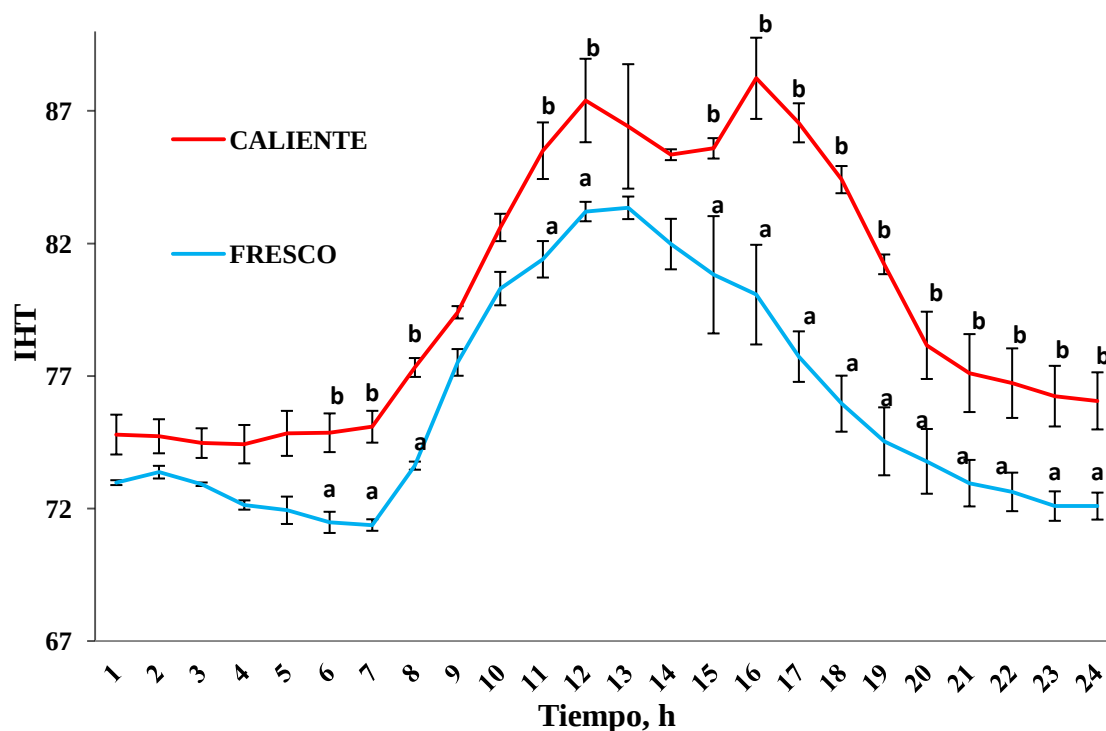


Figura 10. Valores promedios del índice de temperatura y humedad ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P=0.0002$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

La figura 11 presenta el comportamiento diario (promediado por hora) de la RS durante los periodos CALIENTE y FRESCO del presente estudio. En promedio, el fotoperiodo observado durante esta prueba, expresado como horas de luz : horas de oscuridad, fue de 12.88:11.12 y 13.03:10.97 para los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Para RS también se observó una interacción ($P<0.0001$) entre periodo del estudio y hora del día. Durante el periodo CALIENTE la RS mostró sus valores mínimos promedios diarios entre 1800-0800h (209.61 ± 21.54 - 143.56 ± 23.34 W/m²), seguido de un aumento constante de 0900-1000h (252.77 ± 11.72 - 442.55 ± 57.77 W/m²), alcanzando su pico máximo de 1100-1500h (666.58 ± 57.50 - 809.61 ± 10.86 W/m²) y descendiendo nuevamente de 1600-1700h (608.18 ± 63.06 - 516.22 ± 31.56 W/m²). Durante el periodo FRESCO la RS se mantuvo constante en sus valores

mínimos promedios diarios de 1700-0800h (83.82 ± 15.44 - 132.55 ± 1.87 W/m²), aumentó en los valores contenidos a las 0900h (361.69 ± 12.70 W/m²) hasta alcanzar su pico máximo promedio diario de 1000-1500h (603.28 ± 34.48 - 530.28 ± 166.68 W/m²) y luego descender en los valores de las 1600h (292.78 ± 42.38 W/m²). A las 1000h el periodo FRESCO presentó mayores valores promedios de RS que el periodo CALIENTE (603.28 ± 34.48 y 442.55 ± 57.77 W/m², respectivamente). Sin embargo, durante el segmento de 1400-1800h el periodo CALIENTE mostró valores de RS promedio mayores que el periodo FRESCO (602.78 ± 56.00 y 317.54 ± 65.67 W/m², respectivamente). Durante el resto de las 24 horas del día no hubo diferencias en RS promedio entre los periodos CALIENTE y FRESCO (166.72 ± 29.58 y 134.17 ± 27.88 W/m², respectivamente). Interesantemente, ninguna de los periodos tuvo valores de RS menores de 0.6 W/m² durante la noche.

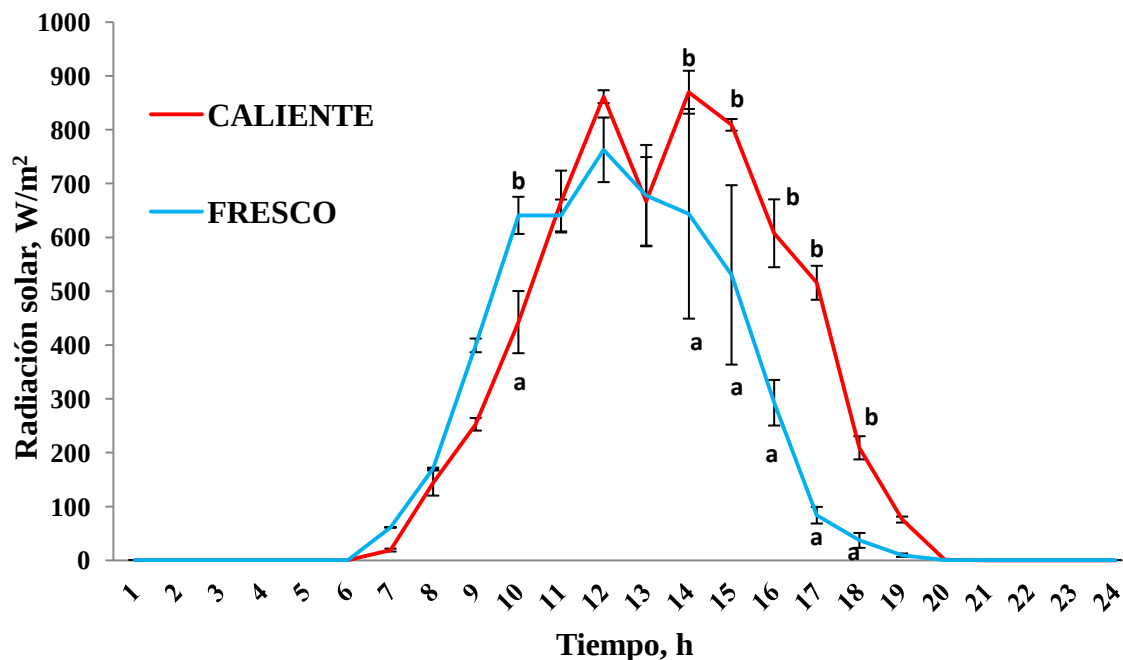


Figura 11. Valores promedios de radiación solar ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P < 0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

La figura 12 presenta el comportamiento diario (promediado por hora) de la VV en los diferentes periodos comparados en el presente estudio. Se observó una interacción ($P < 0.0001$) entre periodo del estudio y hora del día para VV. Durante el periodo CALIENTE la VV mostró sus valores mínimos promedios diarios entre 2000-0700h (0.57 ± 0.30 - 0.39 ± 0.09 m/s), seguido de un aumento constante de 0800-0900h (0.72 ± 0.09 - 1.09 ± 0.02 m/s), alcanzando su pico máximo de 1000-1900h (1.40 ± 0.02 - 1.59 ± 0.19 m/s) y descendiendo nuevamente entre los valores observados a las 1900-2000h. Durante el periodo FRESCO la VV se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios de 1900-0900h (0.52 ± 0.06 - 0.47 ± 0.12 m/s), aumentó constantemente dentro de los valores contenidos en las 1000h (0.83 ± 0.38 m/s) hasta alcanzar su pico máximo promedio diario de 1100-1600h (0.98 ± 0.29 - 0.77 ± 0.25 m/s) y luego descender de

1700-1800h (0.54 ± 0.18 - 0.50 ± 0.16 m/s). Se observaron diferencias en VV promedio entre periodos a las 0600h (0.49 ± 0.15 vs. 0.00 ± 0.00 m/s), 0800-1200h (1.34 ± 0.08 vs. 0.72 ± 0.14 m/s), 1400-2000h (1.57 ± 0.11 vs. 0.62 ± 0.07 m/s) y 2200h (0.43 ± 0.25 vs. 0.01 ± 0.01 m/s) con periodo CALIENTE > FRESCO. Durante el resto de las 24 horas del día no se observaron diferencias en VV promedio entre los periodos CALIENTE y FRESCO (0.45 ± 0.08 y 0.20 ± 0.07 m/s, respectivamente).

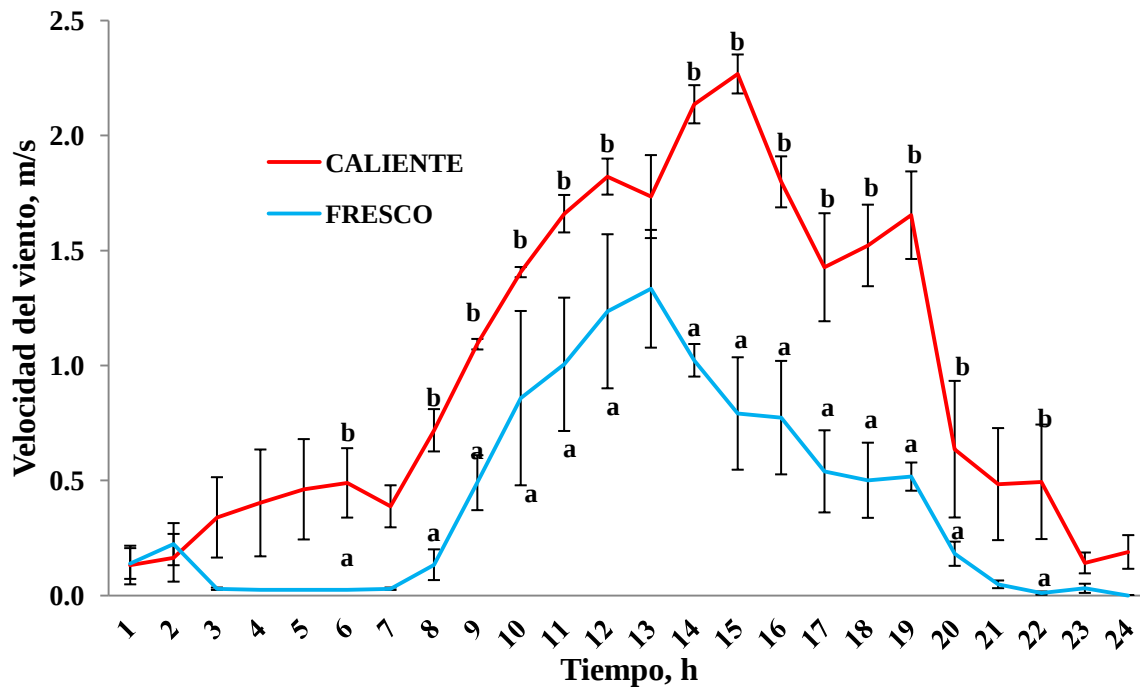


Figura 12. Valores promedios de velocidad del viento ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P < 0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

La figura 13 presenta la curva diaria (promediada por hora) de la VR durante los periodos CALIENTE y FRESCO del presente estudio. Hubo una interacción ($P=0.0003$) entre periodo del estudio y hora del día para la VR. Durante el periodo CALIENTE la VR mostró sus valores mínimos promedios diarios entre 2100-0200h (1.47 ± 0.69 - 1.05 ± 0.35 m/s), seguido de un aumento constante de 0300-1100h (1.77 ± 0.39 - 4.15 ± 0.09 m/s), alcanzando su pico máximo de 1200-1900h (4.64 ± 0.19 - 4.28 ± 0.20 m/s) y descendiendo nuevamente en los valores contenidos dentro de las 2000h (2.04 ± 0.77 m/s). Durante el periodo FRESCO la VR se mantuvo en sus valores mínimos promedios diarios de 2000-0800h (1.43 ± 0.17 - 1.19 ± 0.26 m/s), aumentó constantemente de 0900-1100h (2.13 ± 1.23 - 3.00 ± 0.57 m/s) hasta alcanzar su pico máximo promedio diario de 1200-1400h (3.34 ± 0.55 - 3.11 ± 0.09 m/s) y luego descender de 1500-1900h (2.65 ± 0.62 - 2.40 ± 0.07 m/s). Se observaron diferencias en VR en los segmentos de 0400-0800h (1.98 ± 0.15 vs. 0.31 ± 0.11 m/s), 1000h (3.71 ± 0.04 vs. 2.41 ± 0.84 m/s), 1200h (4.64 ± 0.19 vs. 3.34 ± 0.55 m/s), 1400-1900h (4.57 ± 0.15 vs. 2.41 ± 0.18 m/s) y 2200h (1.57 ± 0.83 vs. 0.60 ± 0.24 m/s) con periodo CALIENTE > FRESCO, respectivamente. El resto de las 24 horas del día no hubo diferencias en la VR promedio entre los periodos CALIENTE y FRESCO (2.20 ± 0.23 y 1.36 ± 0.18 m/s, respectivamente).

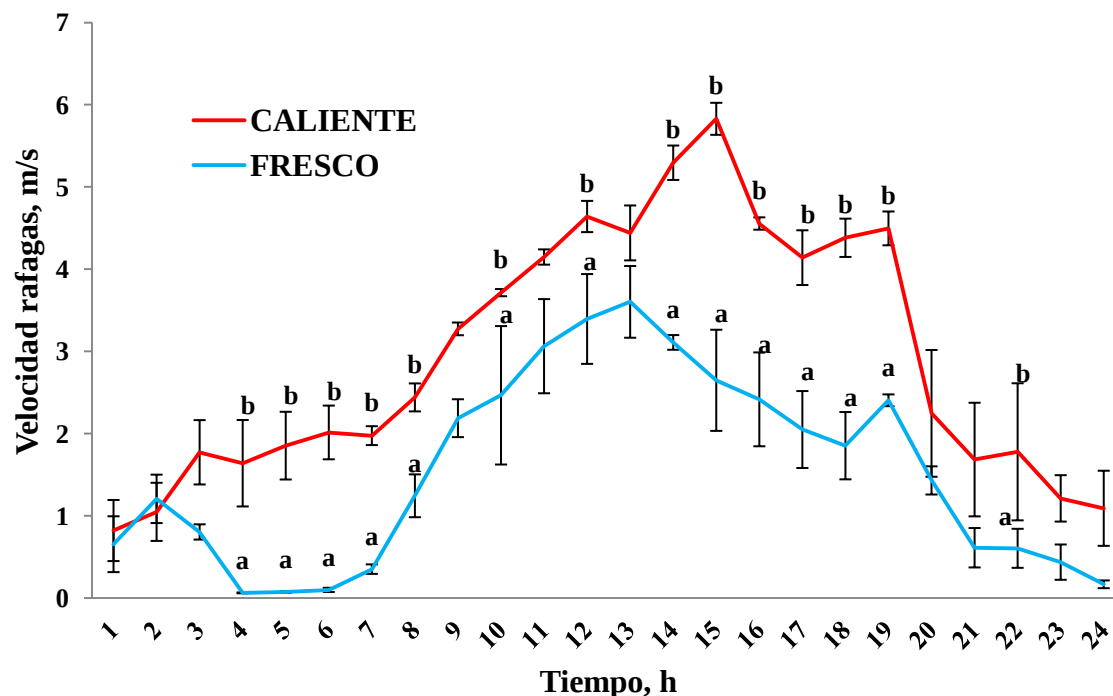


Figura 13. Valores promedios de velocidad de ráfagas de viento ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P=0.0003$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

4.3 Relación entre las condiciones ambientales

Las tablas 3 y 4 presentan los valores de correlación observados entre las diferentes variables ambientales evaluadas en el presente estudio durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Al analizar las 24 horas del día en su totalidad se observó una alta correlación ($P<0.0001$) entre todas las variables ambientales evaluadas. Sin embargo, durante el periodo FRESCO la HR presentó una mayor asociación con las demás variables ambientales que durante el periodo CALIENTE. Así mismo, el ITH presentó una mayor asociación con la TA durante el periodo FRESCO que durante la CALIENTE. Por el contrario, la RS tuvo una mayor influencia sobre la VV y la VR en el periodo CALIENTE que en la FRESCO.

Tabla 3. Coeficientes de correlación durante las 24 horas del día entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo CALIENTE.

CALIENTE (24 horas del día)					
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.85 <0.0001 14,872	0.93 <0.0001 14,872	0.82 <0.0001 14,872	0.81 <0.0001 14872	0.80 <0.0001 14,872
Humedad relativa		-0.61 <0.0001 14,872	-0.64 <0.0001 14,872	-0.61 <0.0001 14,872	-0.65 <0.0001 14,872
ITH			0.79 <0.0001 14,872	0.82 <0.0001 14,872	0.78 <0.0001 14,872
Radiación solar				0.76 <0.0001 15,862	0.71 <0.0001 15,862
Velocidad del viento					0.93 <0.0001 15,862

Nota. Los valores presentados son coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH = índice de temperatura y humedad.

Tabla 4. Coeficientes de correlación durante las 24 horas del día entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo FRESCO.

FRESCO (24 horas del día)					
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.99 <0.0001 15,840	0.99 <0.0001 15,840	0.80 <0.0001 15,840	0.79 <0.0001 15,840	0.77 <0.0001 15,840
Humedad relativa		-0.97 <0.0001 15,840	-0.77 <0.0001 15,840	-0.78 <0.0001 15,840	-0.77 <0.0001 15,840
ITH			0.80 <0.0001 15,840	0.78 <0.0001 15,840	0.76 <0.0001 15,840
Radiación solar				0.65 <0.0001 15,840	0.61 <0.0001 15,840
Velocidad del viento					0.91 <0.0001 15,840

Nota. Los valores presentados son coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH = índice de temperatura y humedad.

En la presente investigación los datos ambientales también fueron analizados teniendo en cuenta el día (horas de luz) y la noche (horas de oscuridad). Las tablas 5 y 6 muestran los coeficientes de correlación observados entre las diferentes condiciones ambientales evaluadas durante las horas de luz (día) y durante las horas de oscuridad (noche) en el periodo CALIENTE. Durante ambos periodos (luz y oscuridad) de el periodo CALIENTE las condiciones ambientales evaluadas también resultaron estar altamente asociadas entre sí ($P < 0.0001$). Adicionalmente, la HR mostró una mayor asociación negativa con las demás variables ambientales durante las horas

de luz que durante las horas de oscuridad en el periodo CALIENTE. Sin embargo, también durante el periodo CALIENTE, el ITH estuvo más asociado a la TA durante las horas de oscuridad que durante las horas de luz. Naturalmente, durante las horas de oscuridad la influencia de la RS sobre las demás condiciones ambientales no pudo ser determinada debido a la ausencia de esta variable.

Tabla 5. Coeficientes de correlación durante las horas de luz (de día) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo CALIENTE.

	CALIENTE (Horas de Luz)				
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.81 <0.0001 7,524	0.85 <0.0001 7,524	0.70 <0.0001 7,524	0.64 <0.0001 7,524	0.65 <0.0001 7,524
Humedad relativa		-0.39 <0.0001 7,524	-0.48 <0.0001 7,524	-0.42 <0.0001 7,524	-0.54 <0.0001 7,524
ITH			0.67 <0.0001 7,524	0.67 <0.0001 7,524	0.58 <0.0001 7,524
Radiación solar				0.63 <0.0001 8,514	0.58 <0.0001 8,514
Velocidad del viento					0.85 <0.0001 8,514

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH = índice de temperatura y humedad.

Tabla 6. Coeficientes de correlación durante las horas de oscuridad (de noche) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo CALIENTE.

CALIENTE (Horas de oscuridad)					
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.63 <0.0001 7,348	0.94 <0.0001 7,348	. . .	0.63 <0.0001 7,348	0.64 <0.0001 7,348
Humedad relativa		-0.34 <.0001 7,348	. . .	-0.35 <0.0001 7,348	-0.37 <0.0001 7,348
ITH			. . .	0.62 <0.0001 7,348	0.63 <0.0001 7,348
Radiación solar				. . .	. . .
Velocidad del viento					0.88 <0.0001 7,348

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. Los coeficientes de correlación para radiación solar no pueden ser determinados debido a la ausencia de radiación durante estas horas.

Las tablas 7 y 8 presentan los coeficientes de correlación observados entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio durante los periodos de luz (de día) y oscuridad (de noche) en el periodo FRESCO. Durante las horas de luz también se observó una alta asociación entre las diferentes variables ambientales evaluadas en este periodo ($P < 0.0001$). Sin embargo, en comparación con las horas de luz, durante las horas de oscuridad (con la

excepción de la relación entre la TA y la HR y entre la TA y el ITH) la asociación entre las variables ambientales se redujo considerablemente.

Tabla 7. Coeficientes de correlación durante las horas de luz (de día) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo FRESCO.

	FRESCO (Horas de Luz)				
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.98 <0.0001 8,602	0.98 <0.0001 8,602	0.72 <0.0001 8,602	0.70 <0.0001 8,602	0.70 <0.0001 8,602
Humedad relativa		-0.96 <0.0001 8,602	-0.66 <0.0001 8,602	-0.70 <0.0001 8,602	-0.70 <0.0001 8,602
ITH			0.72 <0.0001 8,602	0.7 <0.0001 8,602	0.71 <0.0001 8,602
Radiación solar				0.49 <0.0001 8,602	0.45 <0.0001 8,602
Velocidad del viento					0.91 <0.0001 8,602

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH = índice de temperatura y humedad.

Tabla 8. Coeficientes de correlación durante las horas de oscuridad (de noche) entre las diferentes variables ambientales medidas en el presente estudio en el periodo FRESCO.

FRESCO (Horas de oscuridad)					
	Humedad relativa	ITH	Radiación solar	Velocidad del viento	Velocidad de ráfaga
Temperatura ambiental	-0.90	0.98	.	0.06	0.01
	<0.0001	<0.0001	.	<0.0001	0.5918
	7,238	7,238	.	7,238	7,238
Humedad relativa		-0.80	.	-0.06	-0.08
		<0.0001	.	<0.0001	<0.0001
		7,238	.	7,238	7,238
ITH			.	0.06	-0.02
			.	<0.0001	0.0401
			.	7,238	7,238
Radiación solar				.	.
				.	.
				.	.
Velocidad del viento					0.76
					<0.0001
					7,238

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. Los coeficientes de correlación para radiación solar no pueden ser determinados debido a la ausencia de radiación durante estas horas. ITH = índice de temperatura y humedad.

Al comparar las 24 horas del día (Tabla 3) con las horas de luz (Tabla 5) y con las horas de oscuridad (Tabla 6) en el periodo CALIENTE observamos que la asociación entre la temperatura del aire y las diferentes condiciones ambientales fue mayor al considerar las 24 horas del día que durante los periodos de luz y oscuridad. Adicionalmente, al evaluar la relación entre la HR y las demás variables ambientales observamos que 24 horas del día > período de luz > período de oscuridad. En general, la asociación observada entre el ITH y las demás condiciones ambientales fue mayor durante las 24 horas del día que en los periodos de luz y de

oscuridad. También la VV mostró una mayor relación con las demás condiciones ambientales al considerar las 24 horas del día en comparación con los periodos individuales de luz y de oscuridad.

Durante el periodo FRESCO se observó una asociación considerablemente menor de la VV y de la VR con las demás variables ambientales durante el periodo de oscuridad (Tabla 8) que durante el periodo de luz (Tabla 7) o al considerar las 24 horas del día (Tabla 4). Además, la correlación entre la HR y el ITH fue ligeramente menor durante el periodo de oscuridad (Tabla 8) que en el periodo de luz (Tabla 7) o al considerar las 24 horas del día (Tabla 4).

4.4 Temperatura vaginal

La figura 14 presenta los valores promedios de TV observados durante las 24 horas del día. En el presente estudio periodo y hora del día interactuaron para afectar la TV ($P < 0.0001$). Durante el periodo FRESCO se observaron los menores valores de TV promedio diaria en el periodo de 2400-0600h (38.42 ± 0.03 - $38.39 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$). De 0700-1000h (38.46 ± 0.03 - $38.63 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$) se observó un leve aumento en TV, hasta alcanzar sus valores máximos diarios de 1100-1900h (38.67 ± 0.03 - $38.75 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$). En el periodo de 2000-2300h (38.63 ± 0.03 - $38.56 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$) se observó una mínima reducción en los valores promedios de TV. Durante el periodo CALIENTE los valores promedios diarios de TV aumentaron de 0300 a 1500h (38.21 ± 0.03 - $38.94 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$); sin embargo la tasa de aumento fue menor durante el periodo 0300-1000h ($0.006^{\circ}\text{C}/\text{min}$) que en el periodo de 1100-1500h ($0.022^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Los valores máximos de TV promedio durante esta periodo fueron observados en el periodo de 1600-1700h (39.04 ± 0.08 - $39.07 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$), seguido de una reducción continua desde las 1800 hasta las 0200h (38.88 ± 0.08 - $38.60 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$). En el periodo de 1400-1800h las vacas presentaron mayores valores de TV promedio durante el

periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO, (38.96 ± 0.03 y 38.75 ± 0.02 °C, respectivamente). Sin embargo, durante el periodo FRESCO se observaron mayores valores de TV promedio que durante el periodo CALIENTE en los periodos de 0200-0400h (38.37 ± 0.02 vs. 38.21 ± 0.02 °C, respectivamente) y de 0800-1100h (38.60 ± 0.02 vs. 38.44 ± 0.01 °C, respectivamente). Durante las demás horas del día no se observaron diferencias en TV entre periodos (38.54 ± 0.02 y 38.63 ± 0.01 °C para periodo CALIENTE y FRESCO, respectivamente).

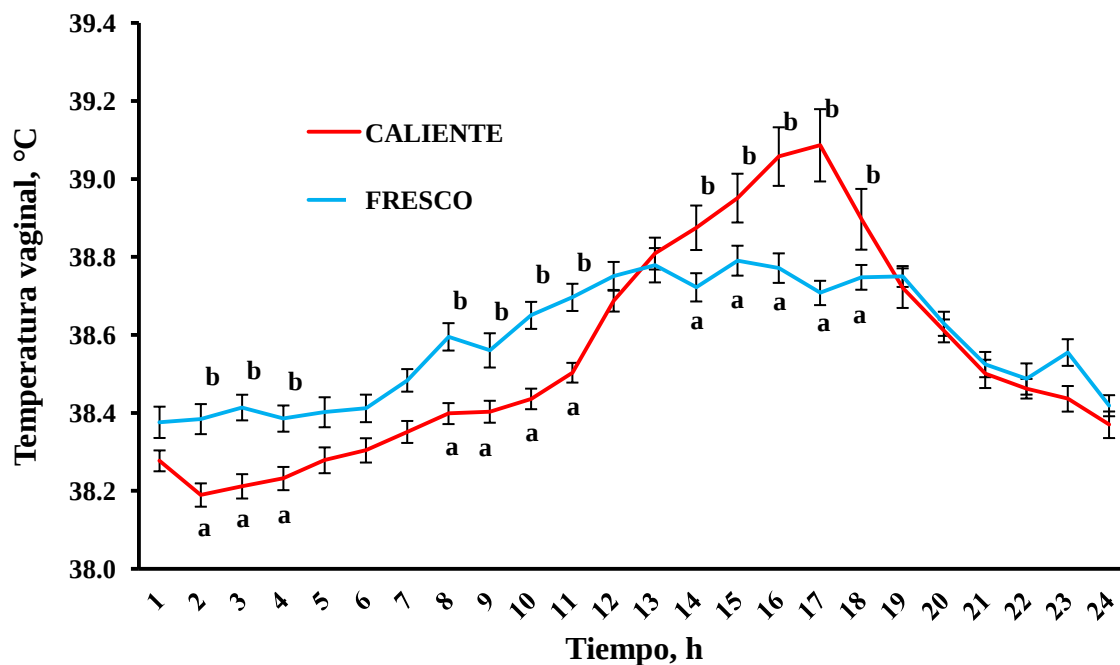


Figura 14. Valores promedios de temperatura vaginal ($\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día para los periodos CALIENTE y FRESCO. Periodo x tiempo ($P < 0.0001$). Letras diferentes indican diferencias entre periodos.

4.5 Relación entre las condiciones ambientales y la temperatura vaginal

Las ecuaciones que describen el comportamiento de la TV durante las 24 h del día son las siguientes:

Para el periodo CALIENTE:

$$TV = 37.31 + 0.12 TA + 0.0062 HR - 0.033 ITH - 0.00024 RS + 0.062 VV - 0.031 VR$$

Para el periodo FRESCO:

$$TV = 36.40 - 0.023 TA - 0.0031 HR + 0.0040 ITH - 0.000060 RS - 0.10 VV + 0.037 VR$$

Donde TV = temperatura vaginal, TA = temperatura del aire, HR = humedad relativa, ITH = índice de temperatura y humedad, RS = radiación solar, VV = velocidad del viento y VR = velocidad de ráfaga.

Las tablas 9-14 muestran la relación entre las diferentes variables ambientales evaluadas en tiempo real y de retraso y la temperatura vaginal en los periodos CALIENTE y FRESCO del presente estudio. Al analizar los coeficientes de correlación obtenidos en tiempo real durante el periodo CALIENTE, la variable con mayor influencia sobre la TV lo fue la TA, seguida de (en orden descendente) el ITH, la HR, la VV, la VR y la RS. Para el periodo FRESCO, también durante el tiempo real, se observó un patrón de influencia sobre la TV similar con el siguiente orden descendente: ITH, TA, HR, VV, VR y RS.

La tabla 9 muestra los coeficientes de correlación observados entre la TV y la TA en tiempo real y en tiempo de retraso. En general, como era de esperarse, la TA tuvo un mayor impacto sobre la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y la TA ocurrieron al tener en cuenta 1 ($r=0.70$; $P<0.0001$) y 2 ($r=0.53$; $P<0.0001$) horas de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada en ambos

periodos al analizar las 13 horas de retraso [-0.60 ($P < 0.0001$) y -0.48 ($P < 0.0001$) para los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente]. Desde 2 hasta 13 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y la TA descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. Desde 14 horas de retraso hasta el tiempo real se observó un aumento lineal en la relación entre ambas variables.

Tabla 9. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			Temperatura del aire					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	0.65	0.46	8 h de retraso	-0.15	-0.04	16 h de retraso	-0.47	-0.30
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	14,872	15,840		15,004	15,624		15,004	15,528
1 h de retraso	0.70	0.51	9 h de retraso	-0.32	-0.20	17 h de retraso	-0.35	-0.19
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,708		15,004	15,612		15,004	15,516
2 h de retraso	0.68	0.53	10 h de retraso	-0.44	-0.33	18 h de retraso	-0.20	-0.09
	<0.0001	<.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,696		15,004	15,600		15,004	15,504
3 h de retraso	0.60	0.48	11 h de retraso	-0.52	-0.42	19 h de retraso	-0.03	0.03
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,684		15,004	15,588		15,004	15,492
4 h de retraso	0.50	0.39	12 h de retraso	-0.58	-0.47	20 h de retraso	0.14	0.17
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,672		15,004	15,576		15,004	15,480
5 h de retraso	0.37	0.30	13 h de retraso	-0.60	-0.48	21 h de retraso	0.30	0.31
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,660		15,004	15,564		15,004	15,468
6 h de retraso	0.21	0.19	14 h de retraso	-0.59	-0.46	22 h de retraso	0.47	0.40
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,648		15,004	15,552		15,136	15,336
7 h de retraso	0.03	0.10	15 h de retraso	-0.54	-0.40	23 h de retraso	0.60	0.46
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,636		15,004	15,540		15,268	15,204

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

La tabla 10 muestra la relación observada entre la TV y la HR en tiempo real y en tiempo de retraso. En general, la HR tuvo una mayor influencia sobre la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Sin embargo, el impacto de la HR sobre la TV presentó un comportamiento opuesto al observado al analizar las demás condiciones ambientales. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y la HR ocurrieron al tener en cuenta 12 ($r=0.50$; $P<0.0001$) y 13 ($r=0.50$; $P<0.0001$) horas de retraso durante ambos periodos. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar 1 ($r=-0.57$; $P<0.0001$) y 2 ($r=-0.52$; $P<0.0001$) horas de retraso en los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Desde 2 hasta 12 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y HR aumentaron linealmente hasta alcanzar sus valores máximos positivos. Desde 14 horas de retraso hasta el tiempo real se observó una disminución lineal en la relación entre ambas variables.

Tabla 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			Humedad relativa					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	-0.56	-0.46	8 h de retraso	0.26	0.14	16 h de retraso	0.38	0.28
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	14,872	15,840		15,004	15,624		15,004	15,528
1 h de retraso	-0.57	-0.51	9 h de retraso	0.37	0.27	17 h de retraso	0.26	0.18
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,708		15,004	15,612		15,004	15,516
2 h de retraso	-0.54	-0.52	10 h de retraso	0.46	0.39	18 h de retraso	0.12	0.07
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,696		15,004	15,600		15,004	15,504
3 h de retraso	-0.46	-0.47	11 h de retraso	0.52	0.47	19 h de retraso	-0.03	-0.06
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,684		15,004	15,588		15,004	15,492
4 h de retraso	-0.34	-0.36	12 h de retraso	0.54	0.50	20 h de retraso	-0.19	-0.19
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,672		15,004	15,576		15,004	15,480
5 h de retraso	-0.19	-0.24	13 h de retraso	0.54	0.50	21 h de retraso	-0.35	-0.3
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,660		15,004	15,564		15,004	15,468
6 h de retraso	-0.04	-0.12	14 h de retraso	0.52	0.47	22 h de retraso	-0.50	-0.38
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,648		15,004	15,552		15,136	15,336
7 h de retraso	0.12	0.00	15 h de retraso	0.46	0.39	23 h de retraso	-0.61	-0.43
	<0.0001	0.5899		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,636		15,004	15,540		15,268	15,204

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

La tabla 11 presenta la relación observada entre la TV y el ITH en tiempo real y en tiempo de retraso. En general, como era de esperarse, el ITH tuvo un mayor impacto sobre la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y el ITH ocurrieron al tener en cuenta 1 ($r=0.66$; $P<0.0001$) y 2 ($r=0.53$; $P<0.0001$) horas de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Las mayores asociaciones negativas entre ambas variables fueron observadas tanto en periodo CALIENTE como en FRESCO al analizar las 13 [$r=-0.46$ ($P<0.0001$) y $r=-0.57$ ($P<0.0001$), respectivamente] y las 14 [$r=-0.44$ ($P<0.0001$) y $r=-0.59$ ($P<0.0001$), respectivamente] horas de retraso. Desde 2 hasta 13 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y el ITH descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. Desde 15 horas de retraso hasta el tiempo real se observó un aumento lineal en la relación entre ambas variables.

Tabla 11. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			ITH					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	0.60	0.47	8 h de retraso	-0.07	0.01	16 h de retraso	-0.50	-0.28
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	0.3435		<0.0001	<0.0001
	14,872	15,840		15,004	15,624		15,004	15,528
1 h de retraso	0.66	0.52	9 h de retraso	-0.25	-0.14	17 h de retraso	-0.38	-0.18
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,708		15,004	15,612		15,004	15,516
2 h de retraso	0.65	0.53	10 h de retraso	-0.39	-0.28	18 h de retraso	-0.23	-0.08
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,696		15,004	15,600		15,004	15,504
3 h de retraso	0.61	0.48	11 h de retraso	-0.48	-0.38	19 h de retraso	-0.06	0.03
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	0.0009
	15,004	15,684		15,004	15,588		15,004	15,492
4 h de retraso	0.53	0.40	12 h de retraso	-0.54	-0.44	20 h de retraso	0.11	0.16
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,672		15,004	15,576		15,004	15,480
5 h de retraso	0.43	0.32	13 h de retraso	-0.57	-0.46	21 h de retraso	0.26	0.30
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,660		15,004	15,564		15,004	15,468
6 h de retraso	0.29	0.23	14 h de retraso	-0.59	-0.44	22 h de retraso	0.41	0.39
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,648		15,004	15,552		15,004	15,336
7 h de retraso	0.12	0.14	15 h de retraso	-0.56	-0.38	23 h de retraso	0.54	0.45
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,004	15,636		15,004	15,540		15,004	15,204

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH = índice de temperatura y humedad.

La tabla 12 muestra la asociación observada entre la TV y la RS en tiempo real y en tiempo de retraso. En general, también como era de esperarse, la RS tuvo un mayor impacto sobre la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y la RS ocurrieron al tener en cuenta 2-3 ($r=0.67$; $P<0.0001$) y 3 ($r=0.49$; $P<0.0001$) horas de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 14-15 ($r=-0.46$; $P<0.0001$) y 14 ($r=-0.53$; $P<0.0001$) horas de retraso para los periodos FRESCO y CALIENTE, respectivamente. Desde 4 hasta 13 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y la RS descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. Desde 15 a 2 horas de retraso se observó un aumento lineal en la relación entre ambas variables.

Tabla 12. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la radiación solar en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			Radiación solar					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	0.50	0.34	8 h de retraso	0.03	0.12	16 h de retraso	-0.48	-0.41
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,840		15,862	15,744		15,862	15,648
1 h de retraso	0.61	0.40	9 h de retraso	-0.13	-0.03	17 h de retraso	-0.41	-0.33
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,828		15,862	15,732		15,862	15,636
2 h de retraso	0.67	0.46	10 h de retraso	-0.27	-0.19	18 h de retraso	-0.33	-0.24
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,816		15,862	15,720		15,862	15,624
3 h de retraso	0.67	0.49	11 h de retraso	-0.38	-0.32	19 h de retraso	-0.21	-0.17
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,804		15,862	15,708		15,862	15,612
4 h de retraso	0.61	0.45	12 h de retraso	-0.46	-0.39	20 h de retraso	-0.09	-0.04
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,792		15,862	15,696		15,862	15,600
5 h de retraso	0.50	0.37	13 h de retraso	-0.51	-0.43	21 h de retraso	0.06	0.11
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,780		15,862	15,684		15,862	15,588
6 h de retraso	0.35	0.28	14 h de retraso	-0.53	-0.46	22 h de retraso	0.20	0.24
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,768		15,862	15,672		15,862	15,576
7 h de retraso	0.20	0.20	15 h de retraso	-0.52	-0.46	23 h de retraso	0.36	0.33
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,756		15,862	15,660		15,862	15,564

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

La tabla 13 muestra los coeficientes de correlación observados entre la TV y la VV en tiempo real y en tiempo de retraso. La VV también presentó una mayor asociación con la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y la VV ocurrieron al tener en cuenta las 2 horas de retraso tanto en el periodo FRESCO ($r=0.41$; $P < 0.0001$) como en el CALIENTE ($r=0.64$; $P < 0.0001$). La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 12 ($r=-0.30$; $P < 0.0001$) y 14 ($r=-0.57$; $P < 0.0001$) horas de retraso para los periodos FRESCO y CALIENTE, respectivamente. Desde 3 hasta 13 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y la VV descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos en el periodo CALIENTE. Durante el periodo FRESCO también se observó una disminución continua entre las 3 y las 12 horas de retraso. Desde 15 hasta 1 hora de retraso se observó un aumento lineal en la relación entre ambas variables durante el periodo CALIENTE. Para el periodo FRESCO se observó un patrón de aumento similar desde 16 hasta 1 hora de retraso.

Tabla 13. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			Velocidad del viento					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	0.54	0.35	8 h de retraso	0.01	0.05	16 h de retraso	-0.48	-0.24
	<0.0001	<0.0001		0.1797	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,840		15,862	15,744		15,862	15,648
1 h de retraso	0.60	0.39	9 h de retraso	-0.15	-0.10	17 h de retraso	-0.37	-0.15
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,828		15,862	15,732		15,862	15,636
2 h de retraso	0.64	0.41	10 h de retraso	-0.30	-0.20	18 h de retraso	-0.25	-0.06
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,816		15,862	15,720		15,862	15,624
3 h de retraso	0.63	0.37	11 h de retraso	-0.42	-0.26	19 h de retraso	-0.12	0.03
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,804		15,862	15,708		15,862	15,612
4 h de retraso	0.56	0.35	12 h de retraso	-0.51	-0.30	20 h de retraso	0.02	0.15
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		0.0321	<0.0001
	15,862	15,792		15,862	15,696		15,862	15,600
5 h de retraso	0.45	0.32	13 h de retraso	-0.56	-0.28	21 h de retraso	0.18	0.28
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,780		15,862	15,684		15,862	15,588
6 h de retraso	0.33	0.27	14 h de retraso	-0.57	-0.27	22 h de retraso	0.36	0.35
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,768		15,862	15,672		15,862	15,576
7 h de retraso	0.18	0.18	15 h de retraso	-0.55	-0.27	23 h de retraso	0.47	0.39
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,756		15,862	15,660		15,862	15,564

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

La tabla 14 muestra la correlación observada entre la TV y la VR en tiempo real y en tiempo de retraso. La VR también presentó una mayor asociación con la TV durante el periodo CALIENTE que durante el periodo FRESCO. Las mayores correlaciones positivas entre la TV y la VR ocurrieron al tener en cuenta las 2 horas de retraso tanto para el periodo FRESCO ($r=0.41$; $P<0.0001$) como para el CALIENTE ($r=0.61$; $P<0.0001$). La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 12 ($r=-0.30$; $P<0.0001$) y 14-15 ($r=-0.58$; $P<0.0001$) horas de retraso para los periodos FRESCO y CALIENTE, respectivamente. Desde 3 hasta 13 horas de retraso los coeficientes de correlación entre la TV y la VR descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos en el periodo CALIENTE. Durante el periodo FRESCO también se observó una disminución continua entre las 3 y las 12 horas de retraso. Desde 15 hasta 1 hora de retraso se observó un aumento lineal en la relación entre ambas variables durante el periodo CALIENTE. Para el periodo FRESCO se observó un patrón de aumento similar desde 16 hasta 1 hora de retraso.

Tabla 14. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso durante los periodos CALIENTE y FRESCO.

			Velocidad de ráfaga					
Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO	Temperatura vaginal	CALIENTE	FRESCO
Tiempo real	0.51	0.38	8 h de retraso	0.01	0.03	16 h de retraso	-0.53	-0.20
	<0.0001	<0.0001		0.1797	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,840		15,862	15,744		15,862	15,648
1 h de retraso	0.58	0.40	9 h de retraso	-0.13	-0.10	17 h de retraso	-0.41	-0.10
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,828		15,862	15,732		15,862	15,636
2 h de retraso	0.61	0.41	10 h de retraso	-0.27	-0.19	18 h de retraso	-0.27	-0.03
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	0.0013
	15,862	15,816		15,862	15,720		15,862	15,624
3 h de retraso	0.60	0.38	11 h de retraso	-0.40	-0.26	19 h de retraso	-0.14	0.05
	<.00001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,804		15,862	15708		15,862	15,612
4 h de retraso	0.54	0.37	12 h de retraso	-0.49	-0.30	20 h de retraso	0.01	0.16
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		0.0616	<0.0001
	15,862	15,792		15,862	15,696		15,862	15,600
5 h de retraso	0.44	0.32	13 h de retraso	-0.56	-0.29	21 h de retraso	0.19	0.26
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,780		15,862	15,684		15,862	15,588
6 h de retraso	0.32	0.25	14 h de retraso	-0.58	-0.28	22 h de retraso	0.37	0.33
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,768		15,862	15,672		15,862	15,576
7 h de retraso	0.17	0.15	15 h de retraso	-0.58	-0.26	23 h de retraso	0.48	0.39
	<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001		<0.0001	<0.0001
	15,862	15,756		15,862	15,660		15,862	15,564

Nota. Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

Las figuras 15-26 muestran la relación entre la TV y las diferentes variables ambientales evaluadas en el presente estudio por separado, tanto durante el periodo FRESCO, como en el CALIENTE. En el presente estudio la función que mejor describe el comportamiento de la TV en relación a todas las condiciones ambientales evaluadas (no hubo aumentos considerables en el R^2 al añadir funciones de mayor grado) lo fue la función lineal.

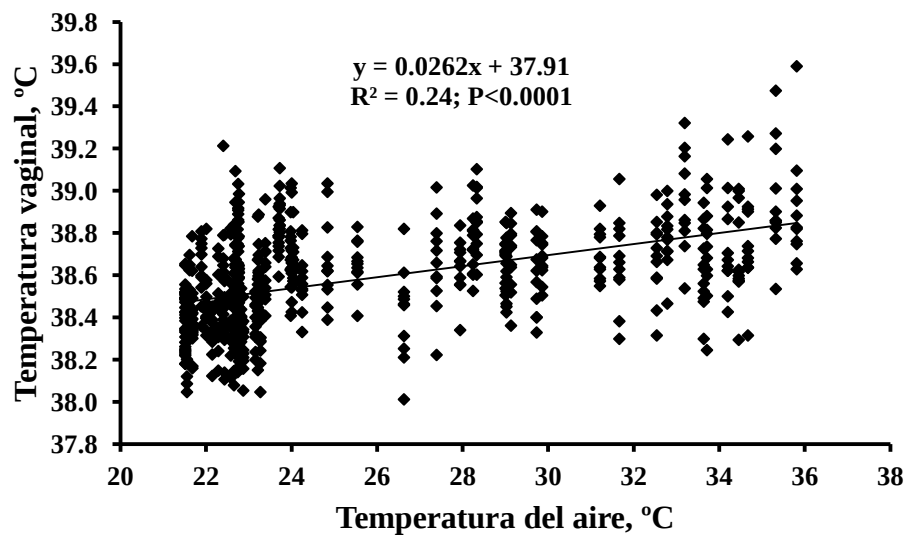


Figura 15. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire (promediadas por hora) durante el periodo FRESCO del presente estudio.

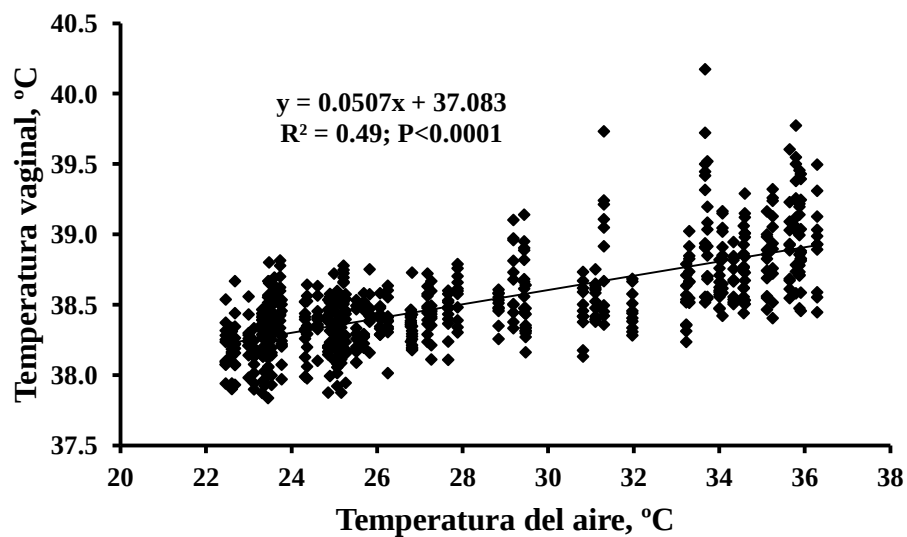


Figura 16. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

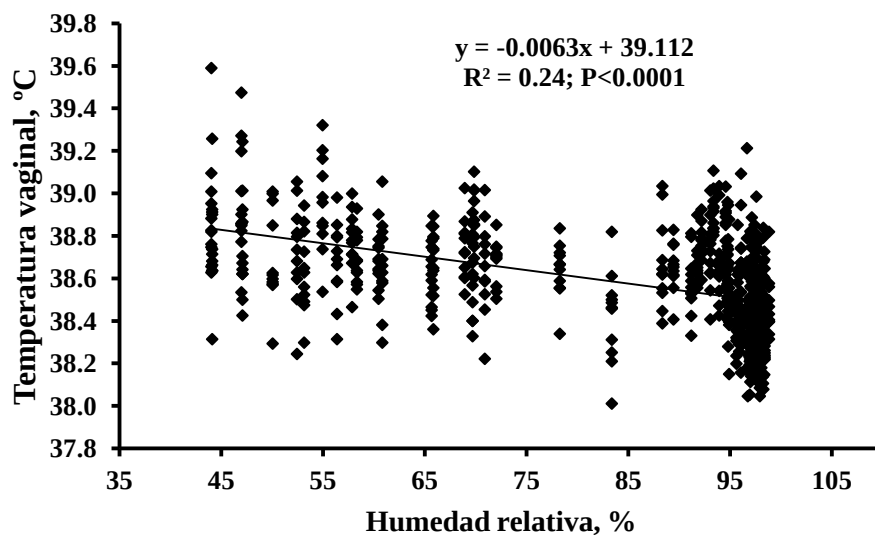


Figura 17. Relación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa (promediadas por hora) durante el periodo FRESCO del presente estudio.

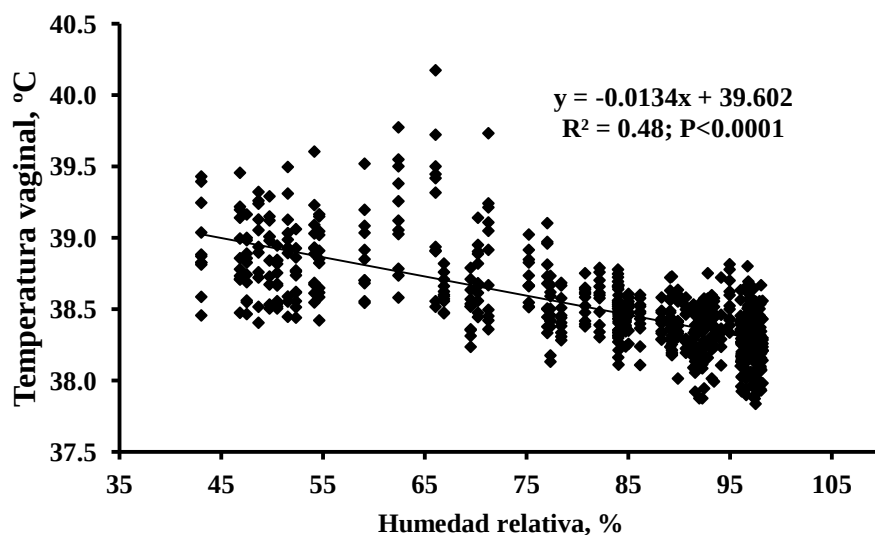


Figura 18. Relación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

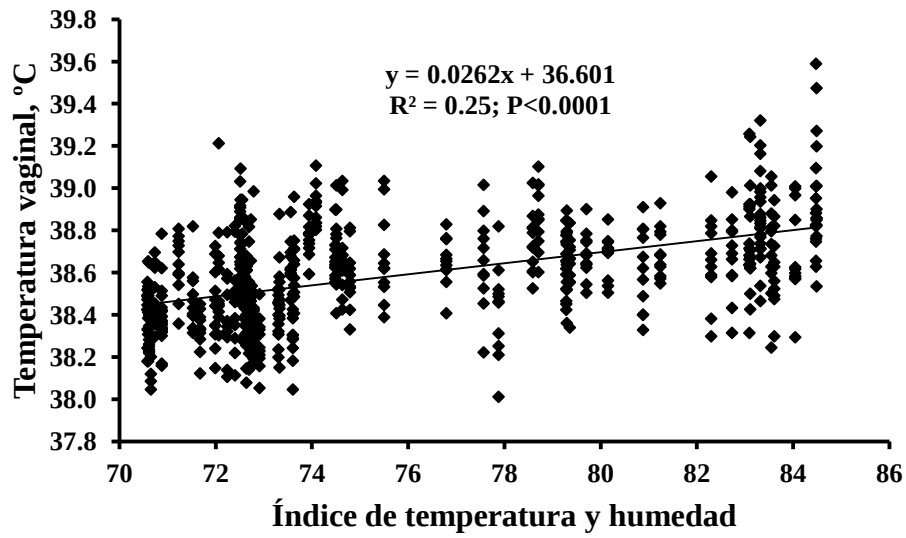


Figura 19. Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad (promediadas por hora) durante el periodo FRESCO del presente estudio.

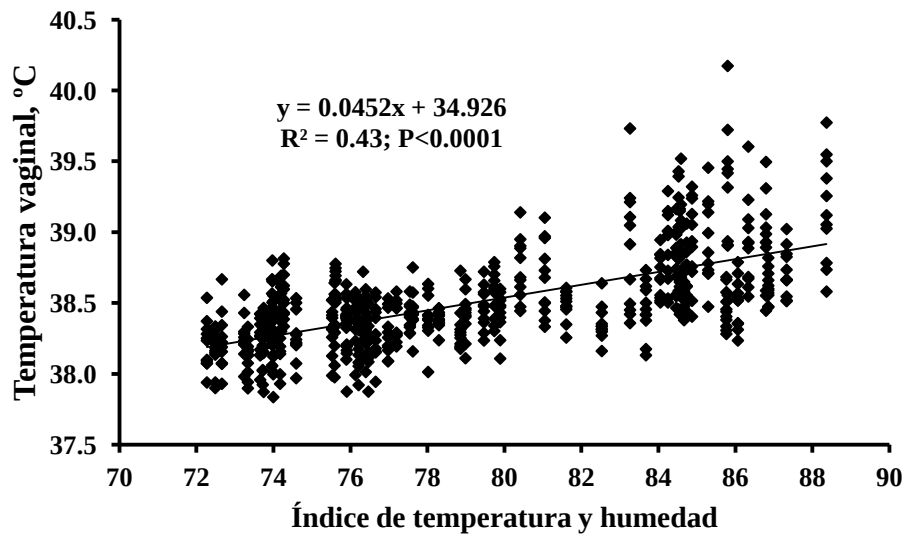


Figura 20. Relación entre la temperatura vaginal y índice de temperatura y humedad (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

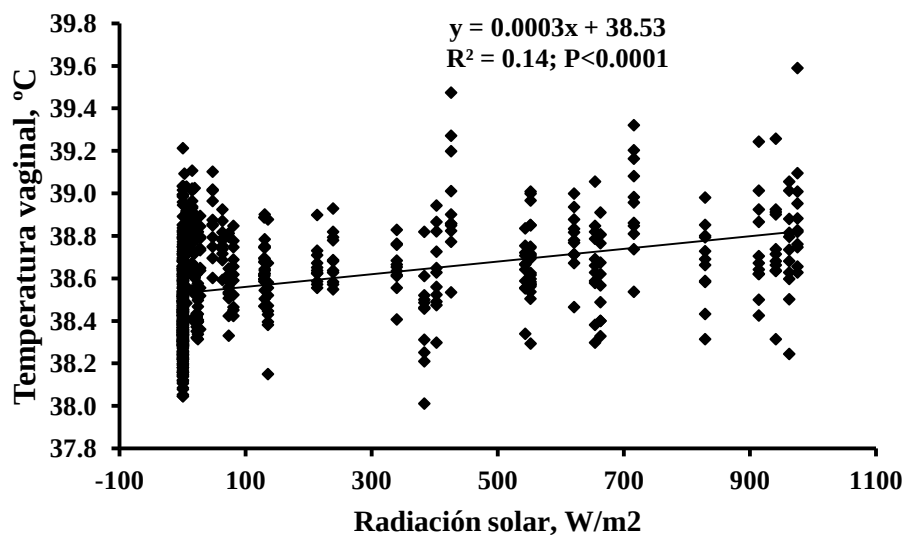


Figura 21. Relación entre la temperatura vaginal y la radiación solar (promediadas por hora) durante el periodo FRESKO del presente estudio.

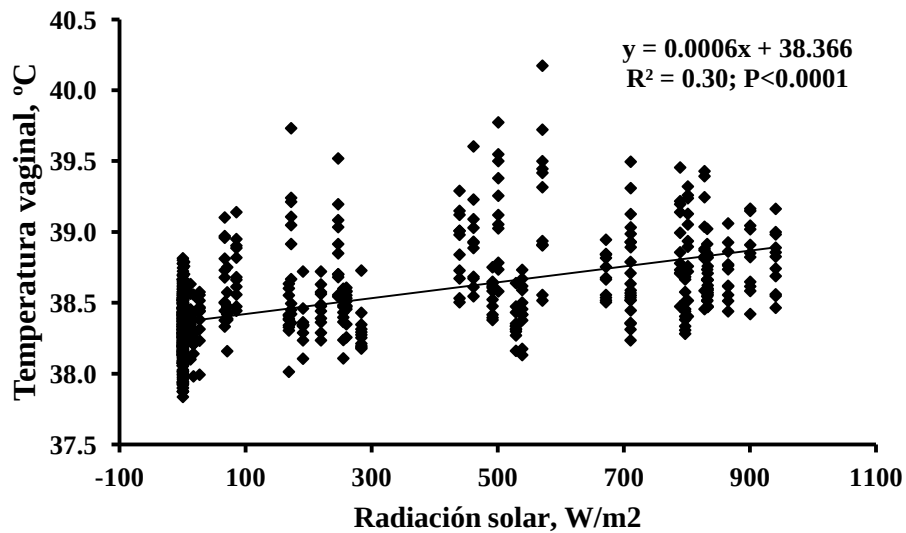


Figura 22. Relación entre la temperatura vaginal y la radiación solar (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

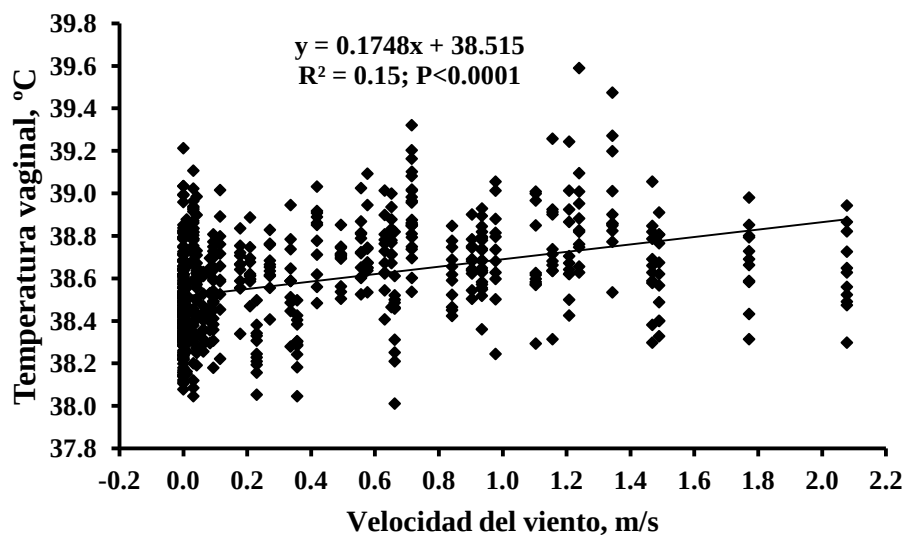


Figura 23. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento (promediadas por hora) durante el periodo FRESCO del presente estudio.

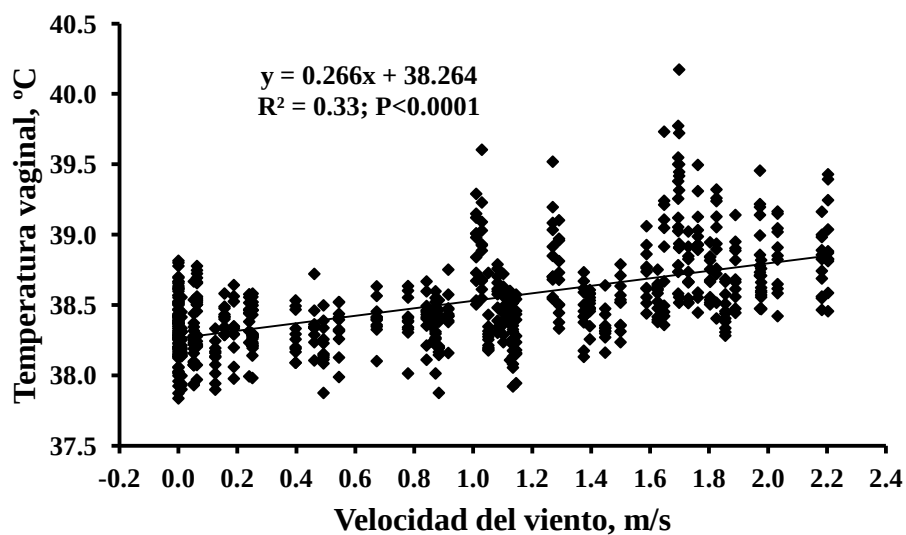


Figura 24. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

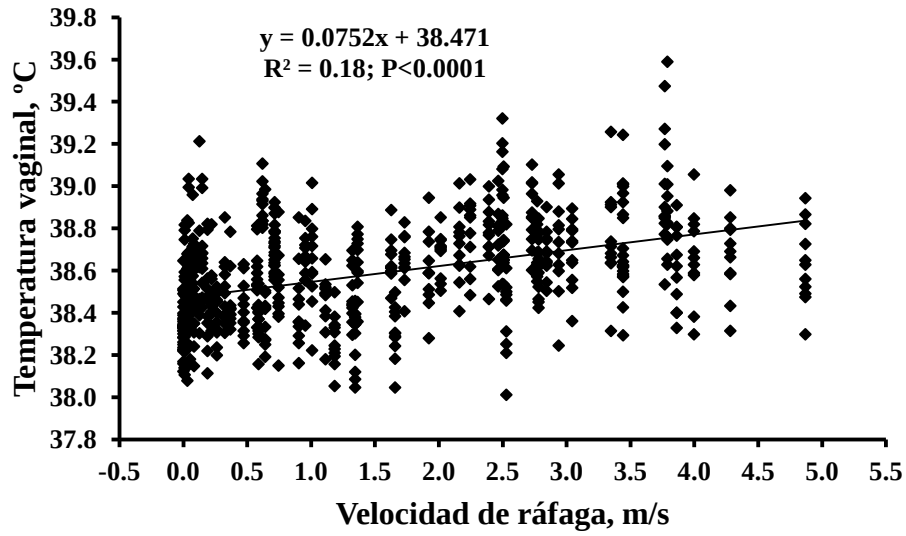


Figura 25. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga (promediadas por hora) durante el periodo FRESCO del presente estudio.

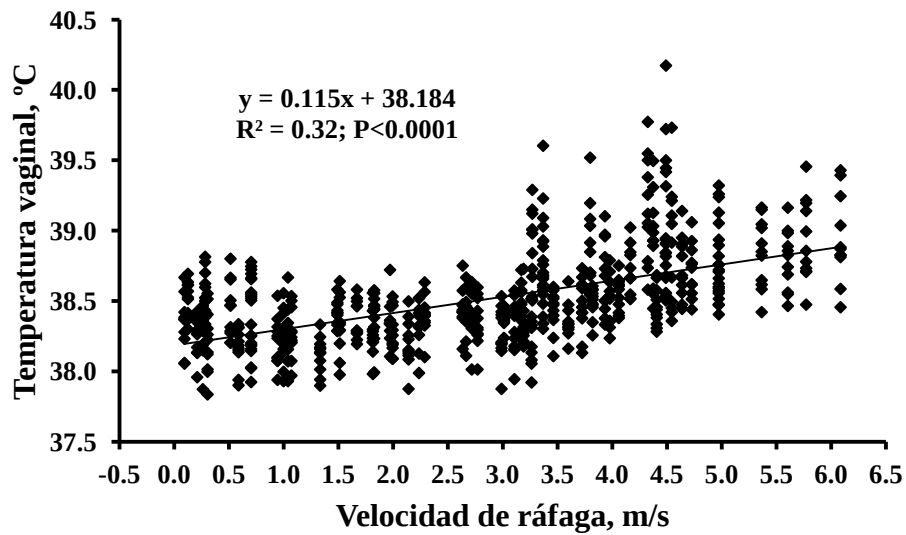


Figura 26. Relación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga (promediadas por hora) durante el periodo CALIENTE del presente estudio.

CAPÍTULO 5-DISCUSIÓN

5.1 Comportamiento de las condiciones ambientales

Curiosamente en la presente investigación los valores de RS, aunque realmente bajos, no asumieron valores de cero durante la noche (Figura 12). La contaminación lumínica ha sido definida como un fenómeno de amplia escala donde las luces artificiales aumentan la iluminación del cielo nocturno (Longcore and Rich, 2004). De hecho, en su atlas de luz artificial nocturna, Cinzano et al. (2001) presentan imágenes de la considerable emisión de luz existente durante la noche en el área de la República Dominicana donde el presente estudio fue llevado a cabo. Por lo tanto, es posible que nuestros valores de RS nocturnos hayan sido influenciados por este fenómeno.

También, en la presente investigación se observaron mayores valores de RS durante el periodo CALIENTE que en el FRESCO, específicamente durante la tarde (Figura 12). Aun cuando en nuestro estudio no se midió directamente la presencia de nubes en el cielo, diversos autores han reportado que estas reflejan parte considerable de la radiación solar, siendo normalmente el principal factor que minimiza el impacto del sol sobre la tierra (Geiger, 1950; Manabe y Wetherald, 1967 y Budiko, 1969). Por lo tanto, existe la posibilidad de que las diferencias en RS observadas entre periodos en el presente estudio sean debidas a diferencias en la nubosidad del cielo.

5.2 Relación entre las condiciones ambientales

Diversos autores han discutido el importante rol que ejerce la RS sobre la TA, la HR y la VV (Geiger, 1950; Manabe y Wetherald, 1967; Budiko, 1969; Swift, 1976; Rich, et al., 1995). La RS [la radiación electromagnética originada en las reacciones termonucleares ocurridas en el sol (Rich et al., 1995)], es la principal fuente de energía recibida por la tierra y, por lo tanto, es quien determina las demás variables climatológicas (Manabe y Wetherald, 1967; Rich et al., 1995). La parte de la RS que llega hasta la tierra calienta la superficie del suelo, la cual libera calor al medio ambiente a través de diferentes mecanismos como convección, evaporación, radiación infrarroja y conducción (Geiger, 1950; Swift, 1976). Este calor disipado desde la superficie terrestre contribuye a aumentar la TA (Manabe y Wetherald, 1967; Budiko, 1969), lo cual puede explicar el comportamiento de esta última variable y del ITH observado en las figuras 9 y 11. De hecho, este efecto fue tan marcado que según Armstrong (1994), los valores de ITH observados en el presente estudio se clasifican como indicadores de estrés por calor leve y moderado en ganado lechero durante los periodos FRESCO y CALIENTE, respectivamente. Es importante notar que las diferencias ambientales entre épocas, en todas las variables climatológicas evaluadas, al igual que en la RS, también fueron observadas principalmente durante la tarde (Figuras 9-14). Una vez el aire se calienta sus moléculas se separan haciéndose menos denso; como resultado de este fenómeno el aire caliente asciende en la atmósfera siendo sustituido por aire a menor temperatura proveniente de capas superiores en la atmósfera y resultando en el desarrollo de corrientes de aire (Geiger, 1950 y Swift, 1976). Esto se ve reflejado en las figuras 13 y 14, donde se observaron mayores VV y de VR en el periodo CALIENTE que en el FRESCO, sobre todo durante la tarde. Así mismo, la parte del calor superficial de la tierra que es disipada al medio ambiente mediante evaporación contribuye a

aumentar la cantidad de vapor de agua contenido en el aire (Geiger, 1950; Manabe y Wetherald, 1967 y Swift, 1976). En nuestro estudio, la HR estuvo negativamente asociada con las demás variables ambientales (Tablas 3-8). Esto coincide con los resultados previamente publicados por otros investigadores (Seath y Miller, 1946; Manabe y Wetherald, 1967; Sun y Oort, 1995; Dikmen y Hansen, 2009). Cuando el aire se calienta, este se hace menos denso, es decir, sus moléculas se separan creando mayor espacio para retención de vapor de agua. Como la HR se refiere a la cantidad de vapor de agua contenida en el aire (medida en porciento) en relación a la capacidad máxima de retención que tiene este a una temperatura dada (Allen et al., 1998); a medida que la TA aumenta, el porcentaje de espacio disponible para acomodar vapor de agua se incrementa resultando en una reducción en el porciento de vapor de agua contenido. Por lo tanto, aunque la cantidad de vapor de agua total contenido en el aire podría aumentar al incrementarse la temperatura del mismo, el porciento ocupado por este, es decir la HR, se reduce.

5.3 Temperatura vaginal

La vaca Criolla de la República Dominicana, al igual que la mayoría de las razas Criollas de América Latina, tiene un pelaje corto y brillante y está sumamente adaptada al clima tropical (Bethancourt y Toribio, 2013). Diversos autores han asociado la presencia de un pelaje corto y brillante con una menor temperatura corporal en ganado bovino (Olson et al., 2003, Mariasegaram et al., 2007; Berman, 2011). En ganado Senepol x Holstein de las generaciones filiales 3 (F3) (Dikmen et al., 2008) y 4 (F4) (Dikmen et al., 2014) se ha observado menor temperatura corporal en vacas de pelo corto que en sus contemporáneas de pelo normal. Aún más, a pesar de que las condiciones ambientales observadas en dichos estudios fueron

considerablemente más frescas que las observadas en la presente investigación, la amplitud de valores diarios de TV reportada por ellos fue considerablemente mayor que la observada en las vacas de la República Dominicana evaluadas en la presente investigación (Figura 15). Inclusive, los valores de TV reportados en las vacas de pelo corto en el estudio de Dikmen et al. (2008) sobrepasan los observados en el presente estudio. Aún más, Igono y Johnson (1990) reportaron que la producción de leche en ganado Holstein comienza a reducirse si la temperatura rectal sobrepasa los 39°C por más de 16 horas al día. Sin embargo, a pesar de lo estresante de las condiciones ambientales observadas en el presente estudio, nuestras vacas mantuvieron valores de TV por debajo de este umbral durante todo el tiempo en el periodo FRESCO y durante la mayoría del tiempo en el periodo CALIENTE (Figura 15). Esto sugiere que estas condiciones ambientales, las cuales son consideradas como indicativas de estrés por calor leve a moderado para el ganado *Bos taurus* lechero moderno (Armstrong, 1994), no representan un gran reto para nuestras vacas en términos de mantener homeostasis termal. Inclusive, aunque estos datos no fueron colectados, en la presente investigación fue común observar estas vacas pastando a pleno sol durante las horas más cálidas del día, sugiriendo aún más una gran capacidad termorreguladora.

Otros investigadores han comparado la respuesta termal de la vaca bajo condiciones ambientales frescas y calientes, principalmente bajo condiciones de ambiente controlado. West y colaboradores (2003) observaron mayores valores de temperatura de la leche bajo un ambiente caliente (22.5-34.4°C de TA y 72.1- 83.6 de ITH) que bajo uno fresco (17.9- 29.5°C de TA y 63.8-76.6 de ITH) tanto para vacas Holstein como para vacas Jersey. Johnson y colaboradores (1988) reportaron un aumento en temperatura rectal al exponer vacas Holstein a condiciones ambientales controladas calientes (32°C de TA y 50% de HR) en comparación con condiciones

ambientales termoneutrales (18°C de TA y 60% de HR). West y colaboradores (1999) también reportaron bajo condiciones ambientales controladas un aumento en temperatura rectal ante la exposición a condiciones ambientales calientes (22.4-34.5°C de TA, 46.6-96.3% de HR y 72.1-83.7 de ITH) en comparación con un ambiente fresco (17.8-29.5°C de TA, 42.3-92.0% de HR y 63.8-76.6 de ITH). Gangwar y colaboradores (1965) también reportaron mayor temperatura rectal bajo un ambiente caliente (23.9-35.0°C de TA) que durante uno fresco (16.7-18.3°C de TA) en novillas Holstein bajo condiciones ambientales naturales y controladas. Estas investigaciones reportaron mayor temperatura corporal durante el periodo CALIENTE que durante el FRESCO tanto en las horas de la mañana como durante la tarde. Esto se debe a que una mayor TA limita el gradiente de calor necesario para que la vaca disipe calor corporal eficientemente resultando en almacenamiento del mismo con un subsecuente aumento en temperatura corporal (Kadzere et al., 2002 y West, 2003). Sin embargo, es importante notar que aunque en su mayoría las condiciones ambientales observadas en la presente investigación fueron considerablemente mayores a las evaluadas en dichos estudios, la TV diaria de nuestras vacas no siguió ese patrón. También es necesario notar que las investigaciones citadas fueron llevadas a cabo utilizando razas de ganado lechero desarrolladas en países de clima templado. La vaca Criolla lechera de la República Dominicana ha sido seleccionada naturalmente por siglos bajo las condiciones ambientales tropicales de dicho país (Bethancourt y Toribio, 2013), lo que puede ayudar a explicar las menores TV observadas durante la mañana en el periodo CALIENTE en comparación con el FRESCO (Figura 15). Bligh y Johnson (1973) definieron el término adaptación fenotípica o aclimatización como un cambio que reduce el estrés fisiológico ante algún componente del ambiente y que ocurre a corto plazo. Por lo tanto, este fenómeno (aclimatización) pudo haber ocurrido resultando en una mayor respuesta fisiológica de las vacas

durante la época CALIENTE para tratar de mantener homeostasis. Esto a su vez sugiere que durante nuestro periodo FRESCO, el cual fue considerablemente cálido, las vacas evaluadas en el presente estudio no se encontraban bajo un grado considerable de estrés por calor. Sin embargo, es importante también señalar que otros autores, evaluando otras razas de ganado, han reportado que el proceso de aclimatización requiere exposición a la variable estresante por un periodo de días a semanas para poder llevarse a cabo (Bligh, 1976, según citado por Sankar y Collier, 2012; Silanikove, 2000), mientras que Willmer et al. (2005) establece que en animales la aclimatización a cambios ambientales puede ocurrir ante la exposición durante periodos tan cortos como varias horas. En nuestro estudio, el periodo definido como de TRANSICIÓN, es decir, donde las condiciones ambientales iniciaron su aumento, fue de solo un día de duración. También es importante recordar que nuestro periodo FRESCO, aunque estadísticamente menor que el CALIENTE, presentó valores ambientales considerados como estresantes en la literatura disponible, lo que nos sugiere la posibilidad de que nuestras vacas llevaran una cantidad de tiempo considerable bajo estas condiciones climáticas adversas. Aún más, los patrones ambientales y de TV analizados y graficados por día de estudio (datos no presentados) no explican la inversión observada en el comportamiento de los patrones de temperatura corporal en el presente estudio. Por lo tanto, aunque se sugiere el fenómeno de aclimatización como una posible razón para el comportamiento observado en la TV, se hace necesario el realizar estudios futuros similares, pero de mayor duración para aclarar el por qué de estos resultados.

5.4 Relación entre las condiciones ambientales y la temperatura vaginal

Estudios previos han evaluado el umbral en las condiciones ambientales en el cual la fisiología de la vaca comienza a verse afectada. Diversos autores han reportado una reducción en producción de leche en vacas lecheras una vez el ITH excede el valor de 72 (Armstrong, 1994; Ravagnolo et al., 2000). Aún más, Zimbelman et al. (2009) reportaron que para vacas lecheras Holstein altas productoras el umbral de ITH donde se comienza a ver una reducción en producción de leche es de 68. En cuanto a la TA, se han reportado cambios en ganado de carne en cuanto a consumo de alimento (Hahn, 1999) y en cuanto a temperatura corporal (Lefcourt y Adams, 1996), y para ganado de leche en cuanto a tasa respiratoria (Berman et al., 1985) una vez se alcanzan los 25-26°C. En nuestro estudio el ITH excedió el valor de 72 durante el 99 y 81 % del tiempo durante los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Similarmente, nuestros datos excedieron el umbral de ITH de 68 durante 100 % del tiempo en ambos periodos. También, la TA en el presente estudio excedió el umbral de 25°C durante el 61 y 38 % del tiempo durante los periodos CALIENTE y FRESCO, respectivamente. Estos valores indican que nuestras vacas estuvieron bajo condiciones ambientales estresantes bajo los estándares del ganado *Bos taurus* moderno durante la mayoría del tiempo de prueba, aún en el periodo FRESCO.

Las vacas son animales homeotermos (Berman, 2011). Una de las implicaciones de esta clasificación es que para mantener una fisiología apropiada ellas deben mantener su temperatura corporal dentro de una amplitud de valores relativamente pequeña (Bianca, 1968; Berman, 2011). Valores de temperatura corporal por encima (hipertermia) o por debajo (hipotermia) de esta amplitud de valores resultan en problemas fisiológicos que pueden implicar hasta la muerte en casos extremos (Bianca, 1968; Silanikove, 2000). La vaca tiene dos fuentes de calor corporal,

el calor interno (producido en sus reacciones metabólicas; Gomes, 1999 y García, 2004) y el calor externo (proveniente del medio ambiente; Alava, 2009 y García, 2004). En ambientes cálidos, como en el trópico, para tratar de mantener su temperatura corporal en valores saludables, la vaca emplea diversos mecanismos de disipación de calor incluyendo: evaporación, conducción, convección y radiación (West, 2003). Sin embargo, cuando la suma del calor interno y el calor externo sobrepasan la capacidad de disipar calor por parte de la vaca, esta entra en estrés por calor, resultando en un aumento en su temperatura corporal (Lippke, 1975 y West, 2003). El hecho de que la vaca emplee estos mecanismos para tratar de mantener homeostasis resulta en una respuesta fisiológica (en este caso una respuesta termal) atrasada ante un evento ambiental estresante. En otras palabras, el aumento diario en temperatura corporal en respuesta a las condiciones ambientales ocurre más tarde que el respectivo incremento en las condiciones climatológicas.

Similar a nuestra investigación (Tablas 9-14), otros han reportado un periodo de retraso entre la incidencia de las condiciones ambientales y la subsecuente respuesta fisiológica de la vaca. West et al. (2003) reportaron un periodo de 2 días de retraso entre un evento estresante de ITH y de TA sobre la producción de leche y el consumo de materia seca, respectivamente. Aún más, Collier et al. (1981) reportaron un periodo de retraso de 24-48 horas entre la incidencia de TA estresantes y una subsecuente reducción en la producción de leche. De igual forma, en ganado de carne se ha reportado un retraso de 2-5 horas entre el aumento en las condiciones ambientales diarias y la subsecuente respuesta en temperatura corporal (Hahn et al., 1990). También, en ganado de leche diversos autores han reportado de 2-7 horas de retraso entre el aumento diario en las condiciones ambientales y la resultante temperatura corporal (Araki et al., 1984; Kendall et al., 2006; Ominski et al., 2002; Liang et al., 2013).

La alta asociación observada en el presente estudio entre la TA y el ITH (Tablas 3 y 4) sugiere que ambas variables brindan información similar sobre las condiciones ambientales. Por lo tanto, en nuestra investigación la TA y el ITH fueron las variables ambientales que más afectaron la temperatura corporal de las vacas (Tablas 9-14). Estos resultados coinciden con los reportados por otros investigadores quienes encontraron que la TA es el factor ambiental más importante afectando la temperatura corporal en vacas lecheras (Seath y Miller, 1946; Seath y Miller, 1947; Harris et al., 1960; Legates et al., 1991). Además, similar a nuestro estudio, ellos también reportaron que la RS, HR y VV tienen un impacto considerable sobre la temperatura corporal del animal, pero menor al de la TA. Es importante mencionar que en el presente estudio las vacas tuvieron libre acceso a sombra artificial y natural durante todo el día, lo cual pudo haber limitado el impacto observado de la RS sobre la TV. Adicionalmente, los resultados de Williams et al. (1960) sugieren que cuando la TA alcanza valores elevados, el coeficiente de correlación observado entre la temperatura corporal y la RS se reduce.

Como antes mencionado, diversos autores han intentado mediante diferentes acercamientos establecer los valores ambientales críticos (umbrales) en los cuales se comienza a observar un efecto negativo sobre el desempeño de la vaca. Uno de los acercamientos más directos es el presentado por Bohmanova y colaboradores en el 2007. Ellos presentaron una gráfica para la relación entre el ITH y la producción de leche en vacas Holstein en Arizona y Georgia. En esta se puede observar lo que los autores denominaron como una función “*broken stick*”; es decir, la producción de leche se comporta en una forma cercana a un patrón lineal hasta alcanzar un umbral de ITH de 72, a partir del cual esta comienza una reducción marcada también de forma cercana a la lineal. Por esto los autores concluyeron que el valor crítico o el umbral de ITH para producción de leche es 72. Bajo las condiciones ambientales observadas en el presente

estudio no se observó el patrón “broken stick” previamente reportado por Bohmanova et al. (2007), lo que sugiere que las vacas evaluadas en el presente estudio están tan adaptadas que bajo estas condiciones ambientales no es posible determinar un umbral o valor crítico (Figuras 16-27). Aún más, una cantidad considerable de los valores ambientales previamente reportados como umbrales para producción de leche en ganado Holstein (o con alta influencia Holstein) parecen ser dependientes del clima prevaleciente en el área geográfica donde han sido evaluados. Por ejemplo, se han reportado umbrales de ITH para reducción en producción de leche de 60 (en proteína láctea), 72, 78 y 80 en estudios llevados a cabo en Alemania (Brügemann et al., 2011), Georgia (Bohmanova et al., 2007), Florida (Dikmen y Hansen, 2009) y Tailandia (Boonkum et al., 2011), respectivamente. Es decir, esto sugiere que mientras más cercano a la línea del Ecuador se encuentra el país evaluado, mayor resistencia a las condiciones ambientales adversas presenta la vaca.

CAPÍTULO 6- CONCLUSIÓN

A pesar de que las condiciones ambientales observadas en el presente estudio estuvieron dentro de los valores considerados como estrés por calor en ganado *Bos taurus* lechero moderno, el ganado evaluado en nuestra investigación (vacas Criollas lecheras de la República Dominicana) mostró una amplitud de valores considerablemente menor a las previamente reportadas por otros autores en ganado con alta influencia Holstein seleccionado para climas cálidos (con pelo corto). Aún más, al comparar los periodos evaluados en la presente investigación, contrario al patrón observado durante la tarde, durante la mañana la TV de nuestras vacas fue menor en el periodo CALIENTE que en el FRESCO. Estos patrones de TV sugieren gran aclimatación a condiciones climáticas adversas por parte de este ganado Criollo, por lo que el mismo podría representar una herramienta de selección sumamente valiosa para la ganadería en las regiones cálidas del globo terrestre.

Estudios futuros deben ir dirigidos a obtener información sobre otras variables que podrían afectar la temperatura corporal de estas vacas incluyendo el consumo y digestibilidad de materia seca, la eficiencia y volumen de producción de leche y el desempeño reproductivo de este ganado. Adicionalmente, estudios futuros deben cuantificar la presencia y el grado de nubosidad y el comportamiento de pastoreo de estas vacas. De igual manera se debería evaluar la capacidad termorreguladora comparando diferentes épocas del año para así confirmar esta teoría sobre el comportamiento observado en la TV. Además, la capacidad termorreguladora de este genotipo debe ser comparada con la de las razas europeas comúnmente utilizadas en esta parte del mundo.

Literatura Citada

- Adams, A. E., F. J. Olea y I. N. Muñiz. 2013. Using temperature-sensing reticular boluses to aid in the detection of production diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96:1549–1555.
- Alava, E. I. 2009. Responses to heat stress in slick vs. normal-haired Holstein cows. Tesis para Maestría en Ciencias. Universidad de Florida.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Araki, C. T., R. M. Nakamura, L. W. G. Kam y N. Clarke. 1984. Effect of lactation on diurnal temperature patterns of dairy cattle in hot environments. *J. Dairy Sci.* 67(8):1752-1760.
- Arias, R. A., T. L. Mader, P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1):7-22.
- Armstrong, D. V. 1994. Symposium: Nutrition and heat stress. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044-2050.
- Asociación Holstein de Estados Unidos de América,
http://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html, revisado el 25 de noviembre del 2014.
- Babatunde, E. B. 2012. Solar radiation, a friendly renewable energy source. *Solar radiation*. InTech Open Access Publisher. 3-18.
- Babatunde, E. B. 2012. Surface albedo estimation and variation characteristics at a tropical station. *Solar radiation*. InTech Open Access Publisher. 141-152.
- Beatty, D. T., A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy y S. Maloney. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity., *J. Anim. Sci.* 84:972–985.
- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83:1377–1384.
- Berman, A. 2011. Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? *J. Dairy Sci.* 94:2147–2158.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson y Y. Graber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68(6):1488-1495.

- Beteta, M. 2003. Llegada del ganado vacuno español a Suramérica. http://our-world.compuserve.com/homepages/Academia_Veterinaria/news37htm. Revisado el 14 de septiembre de 2015.
- Bethancourt, H. y B. Toribio. 2013. Caracterización genética del ganado Criollo Lechero Dominicano utilizando microsatélites. *Revista Agropecuaria y Forestal APF*. 2(1):43-48.
- Bewley, J. M., M. E. Einstein, M. W. Grott y M. M. Schutz. 2008. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows *J. Dairy Sci.* 91:4661–467.
- Bianca W. 1968. Thermoregulation, adaptation of domestic animals. Lea & Febiger. Philadelphia, USA, 97-118.
- Bitman, J., A. Lefcourt, D. L. Wood y B. Stroud. 1984. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67(5):1014-1023.
- Blackshaw, J. K. y A. W. Blackshaw. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Animal Production Science*. 34(2):285-295.
- Bligh, J. y K. G. Johnson. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *J. Appl. Physiol.* 35(6):941-961.
- Bohmanova, J., I. Misztal y J. B. Cole. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947–1956.
- Boonkum, W., I. Misztal, M. Duangjinda, V. Pattarajinda, S. Tumwasorn y J. Sanpote. 2011. Genetic effects of heat stress on milk yield of Thai Holstein crossbreds. *J. Dairy Sci.* 94:487–492.
- Botero, J. P. 2008. Caracterización de la longitud del pelo en diferentes genotipos bovinos en el estado Zulia, Venezuela. Proyecto Especial de graduación del programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. Diciembre.
- Britton, T. L. 2010. The Netherlands. Edina, MN: ABDO Publishing Company.
- Brosh, A., Y. Aharoni, A. A. Degen, D. Wright y B. A. Young. 1998. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 76:2671–2677.
- Brown-Brandl, T. M., R. A Eigenberg, J. A Nienaber y G. L Hahn. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4):451-462.
- Brügemann, K., E. Gernand, U. U. Von Borstel y S. König. 2011. Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity- dependent covariates. *J. Dairy Sci.* 94:4129–4139.

Budyko, M. I. 1969. Effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. *Tellus* XXI 39-692891:611-619.

Campillo, C., R. Fortes y M. Henar. 2012. Solar radiation effect on crop production. *Solar radiation*. InTech Open Access Publisher. 167-194.

Carrasco, E., A. Carramiñana, R. Avila, L. J. Sánchez y I. Cruz. 2012. A new method to estimate the temporal fraction of cloud cover, *Solar radiation*. InTech Open Access Publisher. 53-76.

Castro, A. M., C. G. Muñiz, J. Curbelo, M. Pagán, A. Mesonero, A. de Jesús, N. G. Lluch y H. L. Sánchez. 2015. Effect of the environmental conditions over the vaginal temperature and respiration rate on wild type and slick-haired Puerto Rican Jersey cows. Joint Annual Meeting ADSA-ASAS. Orlando, Florida. Julio 12-16. *J. Dairy Sci.* 93(2):419.

Cianzio, D. 2002. Historia breve del ganado Senepol en Puerto Rico: Un informe en colaboración. Simposio Senepol, Santa Cruz, USVI 8-10 de noviembre.

Cinzano, P., F. Falchi y C. D. Elvidge. 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 328(3):689-707.

Collier, R. J., R. M. Eley, A. K. Sharma, R. M. Pereira y D. Buffington. 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64(5):844-849.

Crouse, J. D., L. V. Cundiff, R. M. Koch, M. Koohmaraie y S. C. Seideman. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *J. Anim. Sci.* 67:2661-2668.

Delgado R., G. Colón. Z. Crespo, V. Colón, P. Cordero, G. Vargas, E. Lozada, E. Arcelay, C. Cabrera, E. Riquelme, G. Muñiz, A. Jesús, N. LLuch, y H. Sanchez. 2014. Asociación entre raza, tipo de pelo y producción en vacas lecheras en Puerto Rico. Sociedad Puertorriqueña de Ciencias Agrícolas, Reunión Científica Anual. Rincón, P.R.

Di Costanzo, A., J. N. Spain, D. E. Spiers. 1997. Supplementation of nicotinic acid for lactating Holstein cows under heat stress conditions. *J. Dairy Sci.* 80(6):1200-1206.

Dikmen, S., E. Alava, E. Pontes, J. M. Fear, B. Y. Dikmen, T. A. Olson y P. J. Hansen. 2008. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. *J. Dairy Sci.* 91:3395–3402.

Dikmen, S., F. A. Khan, H. J. Huson, T. S. Sonstegard, J. I. Moss, G. E. Dahl y P. J. Hansen. 2014. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97(9):5508-5520.

- Dikmen, S. y P. J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92:109–116.
- Drackley, J. K., T. M. Cicela y D. W. LaCount. 2003. Responses of primiparous and multiparous Holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *J. Dairy Sci.* 86(4):1306-1314.
- Esmay, M. L. 1969. In: Principles of animal environment. AVI Publishing. New York. p. 319.
- Falayi, E. O. y A. B. Rabi. 2012. Solar radiation models and information for renewable energy applications. *Solar radiation*. InTech Open Access Publisher. 111-130.
- Farooq, U., H. A. Samad, F. Shehzad y A. Qayyum. 2010. Physiological responses of cattle to heat stress. *World Applied Sciences Journal*. 38-43.
- Ferrell, C. L. y T. G. Jenkins. 1998. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high- concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli steers. *J. Anim. Sci.* 76:647-657.
- Finch, V. A. 1985. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Australian J. Agr. Res.* 38:497-508.
- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62:531-542.
- Florio, J. 2008. Uso de los bovinos criollos en cruzamientos con otras razas bovinas en América Latina, con énfasis en ganadería doble propósito. Desarrollo sostenible de la ganadería doble propósito. Fundación GIRARZ. Ediciones Astro Data, SA Maracaibo-Venezuela, 116-126.
- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.* 521:164-174.
- Gangwar, P. C., C. Branton y D. L. Evans. 1965. Reproductive and physiological responses of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. *J. Dairy Sci.* 48(2):222-227.
- Gantner, V., P. Mijiü, K. Kuterovac, D. Soliü y R. Gantner. 2011. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo*. 61:56–63.
- García, A. D. 2004. Combatiendo el estrés calórico en la vaca lechera. Extension Extra: 4024-S. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Biological Sciences. South Dakota St. Univ. USDA. USA.
- Geiger, R. 1950. The climate near the ground. Harvard University Press. Cambridge Massachusetts USA.
- Gomes, D. S. 1999. Estimate of radiation heat balance of Holstein cows in the sun and under the shade in a tropical environment. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 28(6):1403-1411.

Gomes, R. G. 2006. Weather and climate and animal production. Update of the Guide to Agricultural Meteorological Practices. 563-567.

Gomes, R. S. y M. Campos. 2011. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(5):1143-1147.

González, W., C. Rodríguez, J. Rivera, Z. Crespo, G. Muñiz, M. Pagán, J. Fernández, J. Curbelo y H. Sánchez. 2013. Vacas Holstein pelonas mantienen menor temperatura vaginal que sus contemporáneas de pelo normal. *Novena Jornada Científica Subgraduada, Colegio de Ciencias Agrícolas*. 7 y 8 de mayo.

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

Hahn, G. L., R. A. Eigenberg, J. A. Nienaber y E. T. Littledike. 1990. Measuring physiological responses of animals to environmental stressors using a microcomputer-based portable datalogger. *J. Anim. Sci.* 68(9):2658-2665.

Hansen, P. J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*. 82:349-360.

Hansen, P. J. y C. F. Arechiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77:36-50.

Harris, D. L., R. R. Shrode, I. W. Rupel y R. E. Leighton. 1960. A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 43(9):1255-1262.

Hernández A. I., D. Cianzio y T. A. Olson. 2002. Physiological performance and grazing behavior of Senepol, Brahman and Holstein heifers in Puerto Rico. *Senepol Symposium*, St. Croix, USVI. November 8-10.

Hovinen, M., J. Siivonen, S. Taponen, L. Hänninen, M. Pastell, A. M. Aisla y S. Pyörälä. 2008. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *J. Dairy Sci.* 91(12):4592-4598.

Igono, M. O. y H. D. Johnson. 1990. Physiologic stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature. *J. Interdiscipl. Cycle Res.* 21:303-320.

Igono, M. O., H. D. Johnson, B. J. Steevens, G. F. Krause y M. D. Shanklin. 1987. Physiological, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan system versus shade for Holstein cows during summer heat. *J. Dairy Sci.* 70(5):1069-1079.

Ittner N. R., C. F. Kelly y H. R. Guilbert. 1951. Water consumption of Hereford and Brahman cattle and the effect of cooled drinking water in a hot climate. *J. Anim. Sci.* 10(3):742-751.

- Johnson, H. D., M. Shanklin y L. Hahn. 1988. Productive adaptability of Holstein cows to environmental heat. Univ. of Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 1060. Columbia.
- Johnston, J. E., H. Naelapaa y J. B. Frye. 1963. Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbred bulls exposed to high temperatures and humidities. *J. Anim. Sci.* 22(2):432-436.
- Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86: (E. Suppl.): E104–E114.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove y E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science.* 77(1):59-91.
- Kendall, P. E., P. P. Nielsen, J. R. Webster, G. A. Verkerk, R. P. Littlejohn y L. R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science.* 103(1):148-157.
- Lambeck, K. 2010. The science of climate change: Questions and answers. Australian Academy of Science, Canberra:1-24.
- Lefcourt, A. M. y W. R. Adam. 1996. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *J. Anim. Sci.* 74:2633-2640
- Legates, J. E., B. R. Farthing, R. B. Casady y M. S. Barrada. 1991. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *J. Dairy Sci.* 74(8):2491-2500.
- Liang D., C. L. Wood, K. J. McQuerry, D. L. Ray, J. D. Clark y J. M. Bewley. 2013. Influence of breed, milk production, season, and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature. *J. Dairy Sci.* 96:5072–5081.
- Lippke, H. 1975. Digestibility and volatile fatty acids in steers and wethers at 21 and 32°C ambient temperature. *J. Dairy Sci.* 58(12):1860-1864.
- Loarie, S. R., P. B. Duffy, H. Hamilton, G. P. Asner, C. B. Field y D. D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature.* 462(7276):1052-1055.
- Longcore, T. y C. Rich. 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment.* 2(4):191-198.
- Lopes, F. F., C. C. Chase, Y. M. Al-Katanani, C. E. Krininger, R. M. Rivera, S. Tekin, y P. J. Hansen. 2003. Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: Differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. *Reproduction.* 125(2):285-294.

- Mader, T. L., J. M. Dahlquist, G. L. Hahn y J. B. Gaughan. 1999. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 77(8):2065-2072.
- Magdub, A., H. D. Johnson y R. L. Belyea. 1982. Effect of environmental heat and dietary fiber on thyroid physiology of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 65(12):2323-2331.
- Manabe, S. y R. T. Wetherald. 1967. Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. *Journal of the Atmospheric Sciences.* (24)3:241-259.
- Mariasegaram, M., C. C. Chase, J. X. Chaparro, T. A. Olson, R. A. Brenneman y R. P. Niedz. 2007. The slick hair coat locus maps to chromosome 20 in Senepol-derived cattle. *Anim. Genet.* 38:54-59.
- McDowell, R. E. 1972. Improvement of livestock in warm climates. W.H. Freeman & Co. San Francisco, CA.
- McDowell, R. E., J. C. Wilk, y C. W. Talbott. 1996. Economic viability of crosses of *Bos taurus* and *Bos indicus* for dairying in warm climates. *J. Dairy Sci.* 79(7), 1292-1303.
- McLean, J. A. 1963. The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. *The Journal of Physiology.* 167(3):427-447.
- Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus y D. Shaw. 1994. The impact of global warming on agriculture: A ricardian analysis. *The American Economic Review.* Vol. 84. No.4:753-771.
- Norris A. L. y T. H. Kunz. 2012. Effects of solar radiation on animal thermoregulation. Solar radiation. InTech Open Access Publisher. 195-220.
- Olson T. A., C. Lucena, C. C. Chase y A. C. Hammond. 2003. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 81:80-90.
- Olson, T. A., M. Avila, C. C. Chase, P. J. Hansen y S. W. Coleman. 2002. Impacto de las diferencias en la capa de pelo sobre la temperatura rectal, temperatura de la piel y ritmo respiratorio de cruces Holstein x Senepol en Florida, EEUU. Simposio Senepol, Santa Cruz, Islas Vírgenes 8-10 de noviembre.
- Ominski, K. H., A. D. Kennedy, K. M. Wittenberg y S. M. Nia. 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 85(4):730-737.
- Ottenwalder, F. 2002. La Pecuaria Dominicana. Editorial Letra Gráfica: Santo Domingo, DO. P 13.
- Philipsson, J. 2000. Developing breeding strategies for lower input animal production environments. Sustainability of dairy cattle breeding systems utilising artificial insemination in

less developed countries - examples of problems and prospects. ICAR Technical Series. No.3:551-562.

Pinzón E. 1999. Origen de la ganadería bovina colombiana. Ganadería Razas Criollas. Temas de Orientación Agropecuario. 4ta Ed. Santa Fé de Bogota, Colombia. p.7-17 y 148-152.

Randel R. D. 2005. Reproduction of *Bos indicus* breeds and crosses. Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle. November 12 and 13, Texas A&M University, College Station.

Ravagnolo O., I. Misztal y G. Hoogenboom. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. J. Dairy Sci. 83:2120–2125.

Reuter, R. R., J. A. Carroll, L. E. Hulbert, J. W. Dailey y M. L. Galyean. 2010. Technical note: development of a self-contained, indwelling rectal temperature probe for cattle research. J. Anim. Sci. 88(10):3291-3295.

Rich, P. M., W. A. Hetrick y S. C. Saving. 1995. Modeling topographic influences on solar radiation: a manual for the SOLARFLUX model (No. LA--12989-M Manual). Los Alamos National Lab., NM (United States).

Riera A., H. Sánchez, E. Jimenez. 2013. Caracterización del pelo en ganado Holstein identificado como pelón o no pelón. Novena Jornada Científica Subgraduada, Colegio de Ciencias Agrícolas. 7 y 8 de mayo.

Rivera, J. C., W. González, C. Rodríguez, G. Muñiz, Z. Crespo, E. Jimenez, J. Fernández, J. Curbelo y H. Sanchez. 2013. Validación de la termografía infrarroja como índice del estado térmico en estudios con vacas Holstein puertorriqueñas con fenotipos de pelo corto y pelo largo. Novena Jornada Científica Subgraduada, Colegio de Ciencias Agrícolas. 7 y 8 de mayo.

Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig y J. A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature. Vol. 421.2:57-60.

Sánchez Rodríguez, H. L. 2014. Puertorican slick hair Holstein cows : A brief history and thermotolerance. Heat Stress Road Show. Camuy, PR.

Sánchez, H. L., A. Custodio C. Santana, J. Pantoja. 2008. Efecto de la temperatura del aire, la radiación solar y el nivel de concentrado en la dieta sobre la temperatura vaginal bovina medida continuamente. Tesis para Maestría en Ciencias. Universidad de Puerto Rico.

Sánchez, H. L., G. Muñiz, E. C. Jaime, M. Pagán, A. Mesonero, A. de Jesús, N. G. Lluch, y Castro, A. M. 2015. Effects of the thermal humidity index on vaginal temperature of slick- and wild type-haired Puerto Rican Holstein cows. Joint Annual Meeting ADSA-ASAS. Orlando, Florida. Julio 12-16. J. Dairy Sci. 93(2):419.

Sankar, K y Collier R. J. 2012. Regulation of acclimatation to enviromental stress. Enviromental physiology of livestock. Wiley-Blackwell. 49-63.

Scarano F. A., 2008. Puerto Rico cinco siglos de historias. Agricultura, ganadería y colonización. Tercera edición. 160-167.

SEA (Secretaría de Estado de Agricultura, DO). 1978. Rescate y Desarrollo del Ganado Lechero Criollo, Centro de Investigación y Mejoramiento de la Producción Animal (CIMPA). Editado por la Unidad de Divulgación Técnica de la Secretaría de Estado de Agricultura. Santo Domingo, DO.

Seath, D. M. y G. D. Miller. 1946. The relative importance of high temperature and high humidity as factors influencing respiration rate, body temperature, and pulse rate of dairy cows. J. Dairy Sci. 29(7):465-472.

Seath, D. M. y G. D. Miller. 1947. Heat tolerance comparisons between Jersey and Holstein cows. J. Anim. Sci. 6(1):24-34.

Settivari, R. S., J. N. Spain, M. R. Ellersieck, J. C., Byatt, R. J. Collier y D. E. Spiers. 2007. Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. J. Dairy Sci. 90:1265–1280.

Sherbeck, J. A., J. D. Tatum, T. G. Field, J. B. Morgan y G. C. Smith. 1996. Effect of phenotypic expression of Brahman breeding on marbling and tenderness traits. J. Anim. Sci. 74:304-309.

Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci. 67:1-18.

Stobbs, T.H. 1971. Quality of pasture and forage crops for dairy production in the tropical regions of Autralia. Tropical Grasslands. Vol. 5. No. 3:159-170.

Sun, D. Z. y A. H. Oort. 1995. Humidity-temperature relationships in the tropical troposphere. American Meteorological Society. 8(8):1974-1987.

Suthar, V. S., O. Burfeind, J. S. Patel, A. J. Dharni y W. Heuwieser. 2011. Body temperature around induced estrus in dairy cows. J. Dairy Sci. 94:2368–2373.

Suthar, V. S., O. Burfeind, S. Bonk, A. J. Dharni y W. Heuwieser. 2012. Endogenous and exogenous progesterone influence body temperature in dairy cows. J. Dairy Sci. 95:2381–2389.

Swift, L. W. 1976. Algorithm for solar radiation on mountain slopes. Water Resources Research. 12(1):108-112.

Toribio, B., A. Moquete y G. Lubin. 2011. Medidas zoométricas y peso del ganado Criollo Lechero de CIMPA. Documento interno. Santiago, DO.

- Umphrey, J. E., B. R. Moss y C. J. Wilcox. 2001. Interrelationships in lactating Holsteins of rectal and skin temperatures, milk yield and composition, dry matter intake, body weight, and feed efficiency in summer in Alabama. *J. Dairy Sci.* 84:2680–2685.
- Valsson, S. y A. Bharat. 2011. Impact of air temperature on relative humidity- A study. *Architecture. Time Space & People.* 38-41.
- Vickers, L. A., O. Burfeind, A. G. Von Keyserlingk, D. M. Veira, D. M. Weary y W. Heuwieser. 2010. Technical note: Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93(11):5246-5251.
- Vitali, A., M. Segnalini, L. Bertocchi, U. Bernabucci, A. Nardone y N. Lacetera. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92(8):3781–90.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
- West, J. W., B. G. Mullinix y J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232–242.
- West, J. W., G. M. Hill, J. M. Fernández, P. Mandebvu y B. G. Mullinix. 1999. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. *J. Dairy Sci.* 82:2455–2465.
- Williams, J. S., R. R. Shrode, R. E. Leighton y I. W. Rupel. 1960. A study of the influence of solar radiation on physiological responses of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 43(9):1245-1254.
- Willmer, P., G. Stone y I. Johnston. 2005. *Environmental physiology of animals. The nature and levels of adaptation.* Second Edition. Blackwell Publishing. p. 10.
- Yousef, M.K. 1985. In: *Basic principles. Stress physiology in livestock.* Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zimbelman, R. B., R. P. Rhoads, M. L. Rhoads, G. C. Duff, L. H. Baumgard y R. J. Collier. 2009. A reevaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In *Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference.* Tempe, Arizona. February. p. 113-125.