

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS ALTOS

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOMEDICAS E INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



EFFECTO DEL ÍNDICE TEMPERATURA- HUMEDAD SOBRE LA FERTILIDAD DE VACAS LECHERAS BAJO EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN FAMILIAR EN LOS ALTOS DE JALISCO

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
QUE PRESENTA:

JOSÉ LUIS LOZA GÓMEZ

DIRECTOR:
MC. ELIAB ESTRADA CORTÉS

ASESORES:
DR. HUGO E. FLORES LÓPEZ
DR. HÉCTOR R. VERA ÁVILA

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	I
RESUMEN	II
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. MARCO TEÓRICO	4
Sistemas de producción de leche en México	
Fertilidad en la vaca lechera	
Mecanismos de termorregulación en las vacas	
Efecto del clima sobre la fertilidad en vacas	
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
V. OBJETIVO	13
VI. HIPOTESIS	13
VII. MATERIAL Y MÉTODOS	14
VIII. RESULTADOS	18
IX. DISCUSIÓN	23
X. CONCLUSIONES	28
XI. LITERATURA CITADA	29

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Valores promedio, mínimos y máximos dentro de cada mes para el THI máximo, THI duración y THI carga durante el periodo experimental.	19
Cuadro 2. Resultado de los análisis de regresión logística entre las variables climáticas y la fertilidad a primer servicio.	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ejemplo para describir el THI carga en función del THI máximo, THI umbral y THI duración.	16
Figura 2. Efecto de las estaciones del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto (P= 0.13).	20
Figura 3. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto (P= 0.07) y tendencia del THI máximo durante el periodo de estudio.	21
Figura 4. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto (P= 0.07) y tendencia del THI duración durante el periodo de estudio.	21
Figura 5. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto (P= 0.07) y tendencia del THI carga durante el periodo de estudio.	21
Figura 6. Asociación entre el THI máximo y la probabilidad de que las vacas queden gestantes al primer servicio post-parto (P< 0.01).	23

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del índice temperatura-humedad (THI) sobre la fertilidad a primer servicio post-parto de vacas del sistema de producción semiespecializado/familiar en los Altos de Jalisco. Se determinaron los valores diarios y mensuales del THI promedio, máximo, duración y carga. Se consideró como umbral de entrada al estrés calórico en las vacas, los 70 puntos de THI. La tasa de fertilidad se determinó en 1075 vacas de 24 establos comerciales. Se realizaron análisis de estadística descriptiva, ji-cuadrada y regresión logística. Los resultados de las variables climáticas indican que las vacas enfrentan una condición de estrés calórico ambiental durante los meses de marzo a octubre, pero principalmente en abril, mayo y junio. La tasa de fertilidad general fue de 49.7 % y aunque el valor más bajo se presentó en el mes de octubre (33.9 %) la fertilidad tendió a disminuir durante los meses con mayor carga calórica (de febrero a junio 61.4, 54.1, 50.4, 45.9 y 40.5 %, respectivamente; $P= 0.07$). En el análisis de regresión logística, se observó que conforme los valores del THI máximo aumentaron de 55 a 70 puntos, la probabilidad de que las vacas resultaran gestantes disminuyó en un 40 % ($P < 0.01$). Se concluye que en la región de Los Altos, las vacas del sistema de producción semitecnificado/familiar enfrentan una condición de estrés calórico ambiental entre los meses de marzo y octubre, la cual afecta negativamente la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto de las vacas.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en el país se desarrolla en condiciones heterogéneas desde el punto de vista tecnológico y socioeconómico, de tal manera que se ha clasificado en tres sistemas de producción: el especializado, doble propósito y de lechería familiar (Cervantes *et al.*, 2001; Reynoso *et al.*, 2007). En la región de los Altos el sistema de producción predominante es el de lechería familiar, el cual se caracteriza principalmente por su alta dependencia de mano de obra familiar no asalariada, uso de vacas de la raza Holstein con niveles de producción que pueden variar alrededor de 10 - 20 litros/día/vaca y manejadas bajo condiciones de semi-estabulación en pequeñas extensiones de terreno (Alemán *et al.*, 1996; Cervantes *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2007; Reynoso *et al.*, 2007).

Se ha indicado que uno de los problemas que afecta la productividad en las unidades de producción familiar, es la baja eficiencia reproductiva (Martínez *et al.*, 1997; Cuevas *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2007). En diferentes sistemas de producción de leche, se han identificado una amplia variedad de factores relacionados al manejo del establo, condiciones sanitarias/nutricionales de los animales y climáticos, los cuales de alguna manera pueden estar influyendo en el desempeño reproductivo de las vacas, ya sea a través de su efecto sobre la duración del anestro posparto y/o la fertilidad (Rhodes *et al.*, 2003; Grimard *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2008).

En diferentes estudios se ha observado que la fertilidad de las vacas lecheras puede verse afectada negativamente por los efectos del estrés calórico (Lozano *et al.*, 2005; García-Ispierto *et al.*, 2007). La combinación de elementos climáticos como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento contribuyen con las condiciones para que se pueda generar un ambiente de estrés calórico en los bovinos (Armstrong, 1994). En las vacas Holstein, se ha determinado que la zona térmica de confort ambiental va de los 5 a los 20 grados centígrados y que cuando se rebasa los 25 grados, los animales empiezan a presentar dificultades para mantener su temperatura corporal, viéndose obligados a sacrificar energía adicional

para iniciar los mecanismos de termorregulación, sacrificando su utilización en actividades productivas y reproductivas (NRC, 1981). Una medida que se ha utilizado ampliamente para evaluar el impacto del estrés calórico en las vacas, es el índice temperatura - humedad relativa (THI por sus siglas en ingles), debido a que incorpora dos de las variables climáticas más importantes que ocasionan el estrés por calor. Así mismo, se ha establecido que 70 puntos del THI es el umbral de entrada hacia el estrés por calor en las vacas lecheras (St-Pierre *et al.*, 2003).

En la región de Los Altos del estado de Jalisco, se ha observado que durante el 51.4 % de los días del año (principalmente en Primavera-Verano) el THI rebasa los 70 puntos y su duración arriba del umbral puede variar entre 0.10 a 21.1 horas (Flores *et al.*, 2007). Sin embargo, no existe información sobre los efectos de variables climáticas sobre el comportamiento reproductivo de los animales en la región, los cuales pudieran presentar una condición de estrés calórico ambiental en algunos meses del año, que tal vez no sea tan grave como en otras zonas del país, pero que pudiera verse acentuada por las características en las que se desarrollan las explotaciones en este sistema de producción (pastoreo con gran parte del día bajo el sol; Flores *et al.*, 2007).

II. JUSTIFICACIÓN

En México y en diferentes partes del mundo, se ha documentado ampliamente que cuando las vacas se encuentran bajo una condición de estrés calórico, su desempeño productivo y reproductivo puede verse severamente afectado (Jonsson *et al.*, 1997; Lozano *et al.*, 2005; García-Ispuerto *et al.*, 2007). En la región de Los Altos del estado de Jalisco, se ha observado que durante más de medio año (principalmente en Primavera-Verano) el THI rebasa los 70 puntos durante algunas horas del día (Flores *et al.*, 2007). Aunado a ello, también es conocido que el ganado generalmente se maneja en condiciones de semi-estabulación, de tal manera que en gran parte del día las vacas se encuentran en potreros sin suficiente sombra o en instalaciones que no siempre están diseñadas para contrarrestar condiciones climáticas adversas (Flores *et al.*, 2007).

Tomando en cuenta la anterior información, es posible que las vacas de los establos manejados bajo el sistema familiar, presenten una condición de estrés calórico en algunos meses del año, lo cual puede estar limitando su eficiencia reproductiva. Sin embargo, no existe información que indique un posible efecto del clima sobre el desempeño reproductivo de las vacas, el cual se pudiera acentuar más en los establos con instalaciones mal diseñadas. El conocimiento de la respuesta del animal al ambiente en dicha región, puede permitir elaborar estrategias tanto de manejo del ganado como en la planeación para el diseño de las instalaciones.

III. MARCO TEORICO

Sistemas de producción de leche en México

La producción lechera en México se realiza bajo condiciones heterogéneas, donde puede existir amplia diferencia en cuanto a la adopción de tecnología, el número de vientres, las herramientas reproductivas utilizadas, la calidad de los forrajes, la forma de alimentación, los montos de inversión así como los mecanismos de comercialización, aprovechamiento de los recursos disponibles, entre otros. Desde el punto de vista tecnológico y socio-económico, las unidades de producción en México se han agrupado en tres subsistemas: el estabulado o especializado, semi-especializado o sistema de producción familiar y el de doble propósito. No obstante dicha clasificación, al interior de cada uno de éstos se puede encontrar toda una gama de posibilidades o variantes de producción (Caballero, 2010).

Sistema especializado: Se ubica en el altiplano y norte del país, siendo representativos los establos localizados en las cuencas lecheras de Baja California, Coahuila, Aguascalientes y Querétaro. Los climas característicos de estas regiones son templados, árido y semiárido. Regularmente se trabaja con hatos integrados por ganado de raza pura y alta calidad genética, con base en la raza Holstein en el 95 % de los casos. Se ha indicado que el promedio de vacas por hato es de 265 vacas (Caballero, 2010), sin embargo se sabe que existen establos con más de 5000 vacas en producción, las cuales por lactancia (alrededor de 10 meses) pueden producir más de 10 mil litros. Dentro de sus prácticas comunes se pueden mencionar las siguientes: estabulación del ganado, sistemas mecánicos de ordeña, sistemas de enfriamiento de la leche, utilización de dietas especializadas ofrecidas en una ración totalmente mezclada, buen manejo de registros y controles sanitarios (Cervantes *et al.*, 2001). Además cada establo se puede observar como una empresa bien organizada para la adquisición de insumos, transformación/venta de productos y con acceso a financiamientos. No obstante, en este sistema existe una marcada dependencia del exterior, debido a la importación de vaquillas, semen, semillas, medicamentos, equipos pecuarios y agrícolas (Del Valle y Álvarez, 1997; Peralta y Lastra 1999).

Sistema de producción familiar o semi-tecnificado: se ha definido como aquella que se desarrolla en lugares rurales con acceso a pequeñas superficies propias de tierra y en donde la fuerza de trabajo familiar no asalariada constituye la base en la realización de las actividades. Se localiza principalmente en la región del altiplano del país y particularmente en los estados de Durango, Zacatecas, Jalisco, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Estado de México, Querétaro, entre otros (Peralta y Lastra, 1999; Cervantes *et al.*, 2001). El ganado se encuentra en semi-estabulación y la alimentación se basa principalmente en forraje que se obtiene en los agostaderos, de la producción propia de maíz y la compra de concentrados comerciales; sólo algunos productores pueden producir su propio alimento balanceado (Del Valle y Álvarez, 1997; Nuñez *et al.*, 2009; Arias *et al.*, 2012).

La raza predominante es la Holstein y en menor grado Pardo Suizo, Jersey, Criollo y/o sus cruza. El número de vacas en ordeña en los hatos puede variar entre 10 y 90 vacas, promediando 25 vacas por hato, las cuales producen de 1 600 a 2 800 litros/vaca/año (Caballero, 2010; Arias, 2012). El mejoramiento genético a través de la inseminación artificial es una práctica que va en aumento. El ordeño puede ser manual o mecánico, eventualmente cuentan con tanques de enfriamiento y no suelen llevar un control sanitario programado (Cervantes *et al.*, 2001). Actualmente se comienza a emplear el uso de registros de producción y de reproducción, teniendo menor familiaridad con el registro administrativo y contable. (Caballero, 2010). Además, es un sistema de producción donde se tiene poca interacción entre productores y dependencias, siendo a través de institutos y/o fundaciones como se logran apoyos y asesorías técnicas.

Sistema doble propósito: Se ubica en las regiones tropicales del país, como en los estados de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas por el lado del Golfo y los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, entre otros por el lado del Pacífico. Su nombre lo obtiene debido a que las explotaciones de ganado bovino en estos lugares, tienen como fin zootécnico la producción de leche y la venta de animales para carne (particularmente los becerros). La alimentación se basa en el pastoreo

de praderas o agostaderos frecuentemente de manera extensiva y en menor grado se realiza un manejo rotacional. La conservación de forrajes como heno o ensilaje así como la suplementación energética o proteica es escasa. Asociado a la época de disponibilidad de forraje, es notable la estacionalidad de la producción de leche, la cual se ve incrementada durante la época de lluvia. (Del Valle y Álvarez, 1997; Peralta y Lastra 1999). La craza más utilizada es la del Cebú-Suizo y se ha indicado que el promedio de vacas por hato es de 40, con una producción de 580 lts./vaca/año y duración promedio de 7 meses por lactancia (Caballero, 2010). Las unidades de producción cuentan con niveles bajos de tecnificación, control sanitario y capacitación. El método de ordeña generalmente es el manual con almacenamiento en picheles o cantaros hasta su procesamiento (principalmente para queso fresco) y es poco común la existencia de equipos para ordeña, acopio y enfriamiento del producto (Cervantes *et al.*, 2001).

Fertilidad en vacas lecheras

El término fertilidad incluye el proceso de fertilización, que involucra la unión exitosa del espermatozoide con el óvulo y en el cual, en las vacas lecheras se ha observado que dicho proceso tiene un porcentaje de efectividad de entre 85 y 90 % (Rodríguez *et al.*, 2008). En las evaluaciones del desempeño reproductivo de las vacas, el término fertilidad se ha considerado como un indicador que define la habilidad de las hembras de llegar a quedar gestantes; de tal manera que los indicadores tasa de concepción, tasa de no retorno al estro y la tasa de preñez, hacen referencia a la fertilidad como indicador. En realidad estas mediciones indican la proporción de vacas inseminadas que conciben y logran mantener la gestación hasta el día del diagnóstico de la misma (Rodríguez *et al.*, 2008).

El desempeño reproductivo en los establos lecheros puede ser fuertemente influenciado por la fertilidad de las vacas. A partir de los años 50's, en diferentes partes del mundo se ha observado una clara reducción de la fertilidad; así en 1951, se lograba gestar 65% de las vacas servidas mientras que en 2000 se obtiene menos de 40% (Lucy, 2001). Al parecer, esta tendencia se ha observado

tanto en establos con sistemas de producción intensiva (típicos de EUA), como de sistemas de producción intensiva bajo pastoreo, característicos de Nueva Zelanda (Chagas *et al.*, 2007). Se ha indicado que en los establos manejados de manera intensiva en México, ha ocurrido algo similar, de tal manera que hace 30 años más de 50% de las vacas servidas quedaban gestantes y actualmente es menor de 40% (Hernández, 2000). Cabe señalar que no existe información confiable referente a la fertilidad por servicio en el sistema de producción semitecnificado/familiar.

Como ya se mencionó, en la vaca lechera no hay un problema en el porcentaje de ovocitos que son fertilizados después de la monta o inseminación (85 - 90 %); sin embargo, los problemas se concentran en la alta proporción de estas gestaciones que se llegan a perder (Rodríguez *et al.*, 2008). Cuando la muerte de los embriones ocurre antes del reconocimiento materno de la gestación (días 16 a 19) se considera como muerte embrionaria temprana, pero cuando ésta ocurre entre el reconocimiento materno de la gestación y el momento en que se tiene la organogénesis completa (alrededor del día 42) se denomina muerte embrionaria tardía; la pérdida de la gestación posterior al día 42 se llama muerte fetal (Hernández, 2000). Al parecer, los problemas de muerte embrionaria temprana contribuyen con la mayor proporción de pérdidas de gestaciones (40 - 60 %), la muerte embrionaria tardía lo hace con 10 - 15 % y la muerte fetal con 5 - 15 % (Hernández, 2000). Dependiendo del momento en que se presente una pérdida del producto (embrión o feto) y que esto se confirme a través del diagnóstico de gestación se afectará la fertilidad, la tasa de preñez, la tasa de no retorno al estro o la tasa de concepción.

Mecanismos de termorregulación en vacas

Al igual que otros mamíferos, las vacas lecheras pertenecen al grupo de animales homeotermos, los cuales tienen la característica de mantener su temperatura corporal relativamente constante, independientemente de los cambios de temperatura en el ambiente. De tal manera que si la temperatura corporal disminuye

demasiado, los procesos metabólicos se reducen hasta el punto en que pueden cesar; por el contrario, si la temperatura corporal aumenta, las proteínas corporales pueden desnaturalizarse, lo cual también puede ser fatal (Cunningham, 2003). Por lo tanto, los animales homeotermos deben mantener una tasa metabólica elevada que genere el calor necesario para que puedan mantener la temperatura corporal en el valor mínimo permisible según la especie (37.5 °C en bovinos) y en su caso poner en funcionamiento mecanismos de termorregulación para que la temperatura corporal no rebase el valor máximo (39.5 °C en bovinos).

El estrés por calor afecta al ganado bovino en general, pero el efecto se intensifica más en los bovinos de la sub-especie *Bos taurus taurus*, ya que éstos evolucionaron en climas fríos y templados, lo cual los hace más sensibles a temperaturas altas; sin embargo, la sub-especie *Bos taurus indicus* que evolucionó en climas cálidos ha desarrollado tolerancia a las altas temperaturas (Hernández, 2000). La temperatura corporal de las vacas presenta pequeñas variaciones en las diferentes partes del cuerpo, de tal manera que cuando el animal está en reposo, los órganos internos presentan una mayor tasa metabólica que los músculos, por lo que la temperatura de las vísceras es ligeramente mayor que las partes externas del cuerpo (Mellado, 1995). Sin embargo, cuando un animal ha sido sometido a una actividad intensa o la temperatura ambiental rebasa el umbral de confort (> 25° C o un THI > 70 en la vaca lechera), se activan diferentes procesos fisiológicos tendientes a mantener el balance térmico, energético, de agua, hormonal y mineral (Igono y Johnson, 1990). En paralelo, el metabolismo del animal puede reducirse debido a los cambios en los procesos fisiológicos, lo cual va depender de la intensidad y duración de las horas con altas temperaturas.

Para poder mantener un equilibrio térmico (homeostasis) bajo condiciones de estrés calórico, los animales homeotermos utilizan la disipación de calor por conducción, radiación, convección y evaporación (Cunningham, 2003). Sin embargo, se ha indicado que conforme la temperatura ambiental se aproxima a la

temperatura corporal en los bovinos, los mecanismos de disipación no evaporativos (conducción, radiación y convección) pueden ir perdiendo efectividad y por lo tanto, la evaporación es el mecanismo más importante (Mellado, 1995).

Para que ocurra la pérdida de calor por los mecanismos no evaporativos, se necesita que exista una diferencia o gradiente térmico entre el cuerpo del animal y el medio ambiente; por lo tanto, si tal circunstancia se presenta, el exceso de calor del cuerpo de la vaca se transferirá rápidamente al ambiente menos caliente (Mellado, 1995). Por su parte, la evaporación de agua ocurre en la superficie de la piel de las vacas y del canal respiratorio; de esta manera en ambientes calientes, el proceso de evaporación se incrementa como resultado del aumento de la tasa respiratoria (jadeo) y la sudoración (Mellado, 1995). Sin embargo, la eficiencia del proceso de evaporación va a depender de la humedad relativa, ya que ésta interfiere con la evaporación del agua de la superficie del animal.

Efecto del clima sobre la fertilidad de las vacas

La disminución de la fertilidad observada en la actualidad en las vacas lecheras parece ser de naturaleza diversa. En este sentido, se ha indicado que algunos de los principales factores responsables son asociados al sostenido incremento de la producción de leche, al manejo de la detección de estros e inseminaciones, al manejo nutricional de las vacas, a los problemas de infecciones uterinas, altas prevalencias de agentes infecciosos y al estrés calórico en ciertas regiones (Hernández, 2000; Grimard *et al.*, 2006). En las vacas Holstein (*Bos taurus taurus*), se ha determinado que cuando la temperatura ambiental o el THI rebasan los 25 °C y 70 puntos, respectivamente, los animales empiezan a presentar dificultades para mantener su temperatura corporal, viéndose obligados a utilizar energía adicional para iniciar los mecanismos de termorregulación, sacrificando su utilización en actividades productivas y reproductivas (NRC, 1981). En este sentido, se ha identificado que cuando las variaciones en la temperatura ambiente afectan el confort de las vacas en los hatos lecheros, la fertilidad tiende a disminuir y se

incrementan los casos de anestro con o sin ovulaciones silenciosas (De Rensis y Scaramuzzi, 2003).

En un estudio realizado en 5 establos en España, se observó que conforme el THI cambió de < 70, a 71-75, 76-80, 81-85 y >86 y la temperatura ambiental cambió de <20, a 21-25, 26-30, 31-35, >36 entre los días 3 y 1 previos a la inseminación artificial, la fertilidad se disminuía de 34.4, a 33.3, 30.6, 23.0, 21.7 y de 34.5, a 34.5, 31.0 23.7 y 23.0 %, respectivamente (García-Ispuerto *et al.*, 2007). En la cuenca lechera de Aguascalientes se observó una relación negativa entre el THI y la tasa de gestación, en donde ésta última se modificaba 1.03 % por cada unidad de cambio del THI (Lozano *et al.*, 2005). En este mismo estudio se observó que la tasa de gestación se redujo alrededor de un 13 % en los meses de verano, respecto a los meses de invierno. En otro estudio la concentración de progesterona del segundo cuerpo lúteo después del parto fue negativamente correlacionada con el THI y el intervalo parto-primera ovulación fue mayor en las vacas expuestas a mayor THI en el verano (22.8 vs 17.6 días; Jonsson *et al.*, 1997).

Tales alteraciones pueden ser el resultado de un efecto directo de la temperatura sobre algunas estructuras ováricas (folículos y cuerpos lúteos), o sobre los gametos y/o indirecto por alteraciones en el balance de energía a través una reducción en el consumo de alimento (De Rensis y Scaramuzzi, 2003). Se ha indicado que el estrés calórico puede tener efectos negativos sobre el desarrollo y la calidad del folículo y el óvulo desde antes de la ovulación (Roth *et al.*, 2001); si dicho ovulo llega a ser fertilizado, los daños previos también podrán verse reflejados en el posterior desarrollo y sobrevivencia del embrión. Así mismo, en condiciones in vivo, el estrés calórico durante los días 1 al 7 después del estro afecta el desarrollo embrionario en vacas superovuladas. En condiciones in vitro, la exposición de los embriones a temperaturas equivalentes a la temperatura rectal de las vacas bajo estrés calórico (41 °C), disminuye la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocisto (Hansen *et al.*, 2001). Sin embargo,

se ha indicado que la susceptibilidad de los embriones al estrés calórico disminuye conforme los embriones avanzan en su desarrollo (Edwards y Hansen, 1997).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de producción familiar es el que predomina en la región de los Altos de Jalisco y en dicha región, el THI rebasa los 70 puntos en algunas horas del día durante más de medio año. Las vacas bajo el sistema familiar, generalmente son manejadas en condiciones de semi-estabulación, en donde en gran parte del día, las vacas se encuentran en potreros sin suficiente sombra o en instalaciones del establo que no siempre están diseñadas para contrarrestar condiciones climáticas adversas. Dado esto, es posible que las vacas de los establos manejados bajo el sistema familiar, presenten problemas reproductivos asociados a una condición de estrés calórico en algunos meses del año. Sin embargo, en dicha región, no existe información que pueda responder preguntas como: ¿El desempeño reproductivo de las vacas manejadas bajo el sistema de producción familiar en los Altos de Jalisco, es influenciado por efecto de estrés por calor en algunos meses del año? ¿Qué tanto puede ser afectado el desempeño reproductivo de las vacas por un posible efecto del estrés calórico? ¿El posible efecto del clima sobre el desempeño reproductivo de las vacas manejadas bajo el sistema de producción familiar en los Altos de Jalisco, puede verse acentuado en establos con instalaciones mal diseñadas?

V. OBJETIVO

Determinar el efecto del índice temperatura-humedad sobre la fertilidad a primer servicio de vacas lecheras bajo el sistema de producción semitecnificada/familiar en los Altos de Jalisco.

VI. HIPÓTESIS:

La fertilidad a primer servicio de las vacas bajo el sistema de producción semitecnificada/familiar en los Altos de Jalisco, se disminuye por efecto de un aumento del índice temperatura-humedad durante los meses que corresponden a primavera y verano.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los municipios de Tepatitlán de Morelos, San Ignacio Cerro Gordo y Valle de Guadalupe, los cuales se encuentran localizados en la cuenca lechera de la región Altos Sur del estado de Jalisco. En el área de estudio el clima es Templado Subhúmedo, con temperatura media anual de 18.3 °C y precipitación media anual de 890 mm, concentrados principalmente entre los meses de Junio a Septiembre (Ruíz *et al.*, 2003).

Se utilizó un diseño no experimental de cohorte prospectivo con duración de 13 meses (Dawson y Trapp, 2005). El periodo experimental en campo comprendió de Diciembre de 2011 a Noviembre de 2012, tiempo en el cual se incluyeron 1075 registros de vacas de 24 ranchos comerciales con tamaño y manejo representativos de lo que comúnmente predomina en el sistema de producción semitecnificado/familiar en Jalisco (Cervantes *et al.*, 2001).

Se instalaron tres sensores meteorológicos (Watchdog data logger model 450, Spectrum technology) en lugares cercanos de donde se encontraban los establos en estudio (Cerro Gordo, Pegueros y Valle de Guadalupe). También se utilizaron los registros de la estación meteorológica automatizada del campo experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP. En todos los casos los sensores fueron programados para registrar la humedad relativa y la temperatura ambiental cada media hora.

$$THI = 0.8 \cdot Ta + \left[\frac{RH \cdot (Ta - 14.3)}{100} \right] + 46.3$$

THI= Índice temperatura-humedad.

Ta=Temperatura ambiental.

RH= Humedad relativa

ECUACIÓN 1. Ecuación de Gaughan *et al.* (1999) para obtener el THI.

A través de la información obtenida por los sensores meteorológicos, se calculó el índice temperatura - humedad, mediante la fórmula descrita en la ECUACIÓN 1. Utilizando la información registrada cada media hora, se determinaron los valores diarios del THI máximo, THI duración y THI carga durante el periodo experimental. Para determinar el THI duración, se consideró la diferencia en horas entre el inicio y el término en que se tuvo un THI mayor al umbral de estrés durante el día (THI umbral = 70 para vacas lecheras según St-Pierre *et al.* 2003). Para determinar el THI carga (FIGURA 1), se utilizó la fórmula para determinar el área bajo la curva a través de una integral definida (Ayres, 1989).

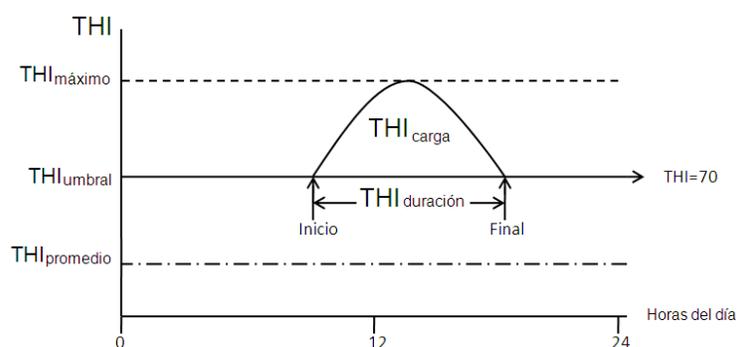


FIGURA 1. Ejemplo para describir el THI carga en función del THI máximo, THI umbral y THI duración (Adaptado de St-Pierre *et al.*, 2003).

Para determinar la tasa de fertilidad (%) a primer servicio del ganado, se consideraron todos los primeros servicios en el post-parto de cada una de las vacas en los diferentes establos; posteriormente, se realizó diagnóstico de gestación al día 45 post-servicio y con base en ello, se determinó el porcentaje de vacas que estaban gestantes. Los diagnósticos se realizaron por palpación transrectal y con el apoyo de un equipo de ultrasonido marca Universal, Medical System, Inc. modelo UMS900 con transductor de 5 Mhz.

Para realizar un análisis descriptivo de las variables climáticas a través del periodo experimental, se determinaron los valores promedio, mínimos y máximos en cada uno de los meses del año, para lo cual utilizó la información proveniente de los cuatro sensores climáticos. También se realizaron análisis de Ji- cuadrada para

determinar el efecto de los meses y las estaciones del año sobre la tasa de fertilidad (ECUACIÓN 2). En este último caso, se incluyó la información de los meses más característicos de cada periodo: enero - febrero para invierno, abril - mayo para primavera, julio - agosto para verano y octubre - noviembre para otoño. Lo anterior con el propósito de separar las clases y evitar un posible traslape de información.

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \right]$$

χ^2 = Valor de Ji-cuadrada.

Σ = Sumatoria.

O_i = Fertilidad observada.

E_i = Fertilidad esperada.

ECUACIÓN 2. Modelo estadístico para el análisis de Ji- cuadrada (Daniel, 2005).

También se generó una base de datos en la cual se incluyeron las variables climáticas del día en que cada una de las vacas recibió su primer servicio post-parto, así como el resultado del diagnóstico de gestación. En este caso se realizaron análisis de regresión logística, en donde se incluyó la fertilidad de las vacas como variable de respuesta y el THI promedio, máximo, duración y carga como variables independientes. Cada variable climática se evaluó en diferente modelo, en cada uno de estos se determinaron los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos (ECUACIÓN 3). En cuanto a los valores de probabilidad, se consideró una $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.1$ para indicar efectos significativos o tendencias de efecto respectivamente. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico del SAS.

$$\pi = \frac{e^{\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \beta_3 X_1^3}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \beta_3 X_1^3}}$$

π = Probabilidad del evento.

e = Valor constante para el sistema de logaritmos naturales.

α = Intercepto.

$\beta_{1,2,3}$ = Valores de los coeficientes de regresión.

X_1 = Variable climática.

X_1^2 = Variable climática elevada al cuadrado.

X_1^3 = Variable climática elevada el cubo.

ECUACIÓN 3. Modelo estadístico para los análisis de regresión logística. (Joanne *et al*, 2002).

VIII. RESULTADOS

En el CUADRO 1 se presentan los valores mensuales del THI máximo, THI duración y THI carga durante el periodo de estudio. Como se puede observar, todos los promedios tendieron a incrementar entre los meses de Marzo a Octubre. Es importante resaltar que a través del año, el promedio del THI máximo presentó valores que superaron el THI umbral en el periodo de abril a octubre y que los valores máximos se mantuvieron por arriba del THI umbral, aunque por muy poco entre los meses de Noviembre a Febrero. Por otra parte, en las variables THI duración y carga, se observa que la carga calórica ambiental se concentra principalmente durante los meses de Abril, Mayo y Junio, que a partir de Julio tiende a disminuir, pero se vuelve a incrementar en el mes de Octubre.

CUADRO 1. Valores promedio, mínimos y máximos dentro de cada mes para el THI máximo, THI duración y THI carga durante el periodo experimental.

Meses del año	THI máximo			THI duración			THI carga		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Enero	65.6	58.7	71.8	0.25	0.0	4.0	0.30	0.00	6.68
Febrero	64.6	51.7	73.0	0.27	0.0	6.0	0.50	0.00	15.51
Marzo	69.1	62.3	74.4	2.00	0.0	7.0	3.80	0.00	21.48
Abril	70.9	61.9	77.2	4.14	0.0	9.5	11.80	0.00	49.13
Mayo	74.7	70.9	79.8	7.77	1.5	19.5	28.40	1.95	81.80
Junio	73.1	69.0	78.9	5.85	0.0	20.5	17.40	0.00	67.96
Julio	70.6	65.9	73.6	2.59	0.0	9.0	4.10	0.00	19.58
Agosto	71.2	62.2	74.5	3.55	0.0	9.0	6.80	0.00	26.99
Septiembre	71.1	67.8	74.4	2.46	0.0	7.5	5.30	0.00	25.14
Octubre	71.5	67.4	75.6	3.80	0.0	7.5	8.20	0.00	30.64
Noviembre	64.4	58.6	71.8	0.30	0.0	5.0	0.40	0.00	6.89
Diciembre	66.9	60.2	71.1	0.08	0.0	3.0	0.10	0.00	3.60

La fertilidad promedio en el estudio fue de 49.76 %, para cuyo cálculo se consideraron 1075 servicios. En el análisis estadístico para determinar el efecto de las épocas del año sobre la fertilidad, de acuerdo con la prueba Ji-cuadrada, no se encontró diferencia estadística significativa ($P=0.13$; FIGURA 2).

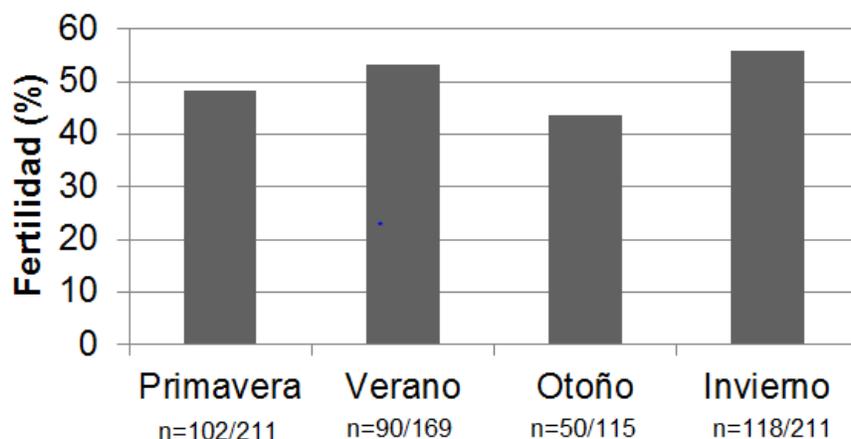


FIGURA 2. Efecto de las estaciones del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto ($P= 0.13$).

Por otra parte, se encontró una tendencia ($P= 0.07$) para el caso del efecto de los meses del año sobre la fertilidad. En la FIGURA 3, se observa que la mayor fertilidad se presentó en el mes de febrero (61.5 %) y a partir de este mes tendió a disminuir gradualmente hasta llegar a 40.1 % en el mes de junio. Posteriormente y después de un incremento importante en el mes de julio (58.8 %), el valor de fertilidad se mantuvo cercano a 50.0 % excepto en el mes de octubre que fue cuando se presentó el menor porcentaje de fertilidad (33.9 %).

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran los valores de la fertilidad mensual y el THI máximo, THI duración y THI carga respectivamente. Esto con la finalidad de ilustrar gráficamente la relación entre las variables climáticas y la fertilidad mensual. Como se puede apreciar en estas figuras, la asociación entre las variables climáticas y la fertilidad mensual aparentemente sigue un patrón inversamente relacionado, sin embargo el análisis estadístico solamente detectó la influencia de la variable THI máximo sobre la fertilidad.

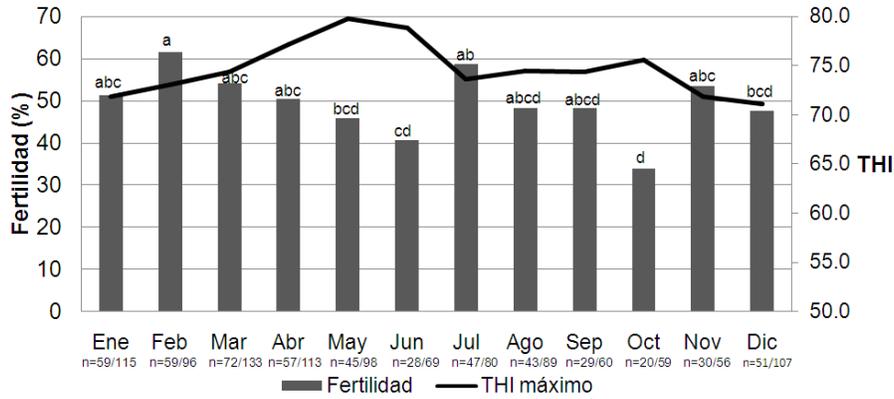


FIGURA 3. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto ($P= 0.07$) y tendencia del THI máximo durante el periodo de estudio.

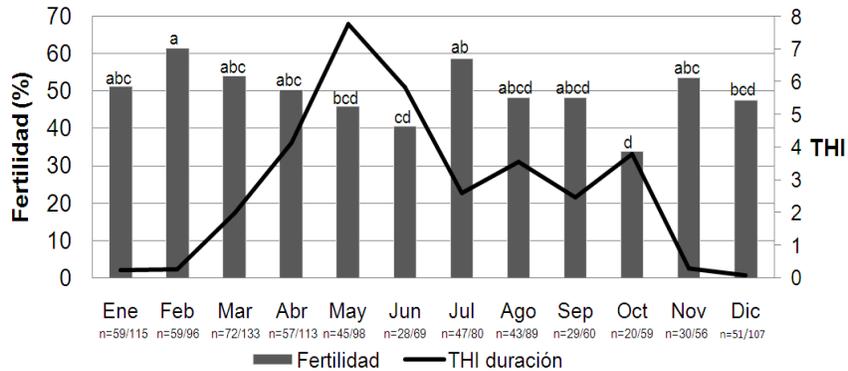


FIGURA 4. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto ($P= 0.07$) y tendencia del THI duración durante el periodo de estudio.

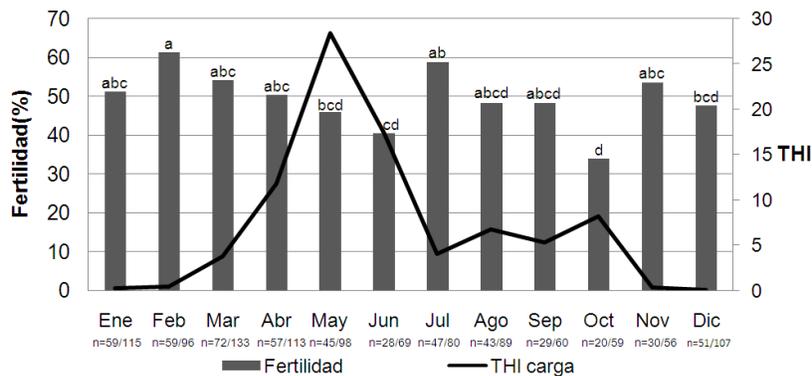


FIGURA 5. Efecto de los meses del año sobre la tasa de fertilidad a primer servicio post-parto ($P= 0.07$) y tendencia del THI carga durante el periodo de estudio.

En los análisis de regresión logística no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.1$) entre las fertilidades a primer servicio por efecto del THI promedio, THI duración y THI carga el día del servicio. Sin embargo, se presentó una respuesta altamente significativa ($P < 0.01$) por los efectos lineal y cuadrático del THI máximo (CUADRO 2).

CUADRO 2. Resultado de los análisis de regresión logística entre las variables climáticas y la fertilidad a primer servicio.

Variabes climáticas	Efecto lineal Probabilidad	Efecto cuadrático Probabilidad	Efecto cúbico Probabilidad
THI promedio	NS	NS	NS
THI máximo	<0.01	<0.01	NS
THI duración	NS	NS	NS
THI carga	NS	NS	NS

NS= probabilidad no significativa, $P > 0.1$.

En la FIGURA 6, se puede observar que conforme los valores del THI máximo aumentaron entre los 55 y 70 puntos, la probabilidad de que las vacas resultaran gestantes disminuyó gradualmente para llegar a un valor mínimo entre los 70 y 74 puntos. Sin embargo, entre los 74 y 78 puntos se observó a su vez un ligero repunte en la probabilidad de quedar gestante.

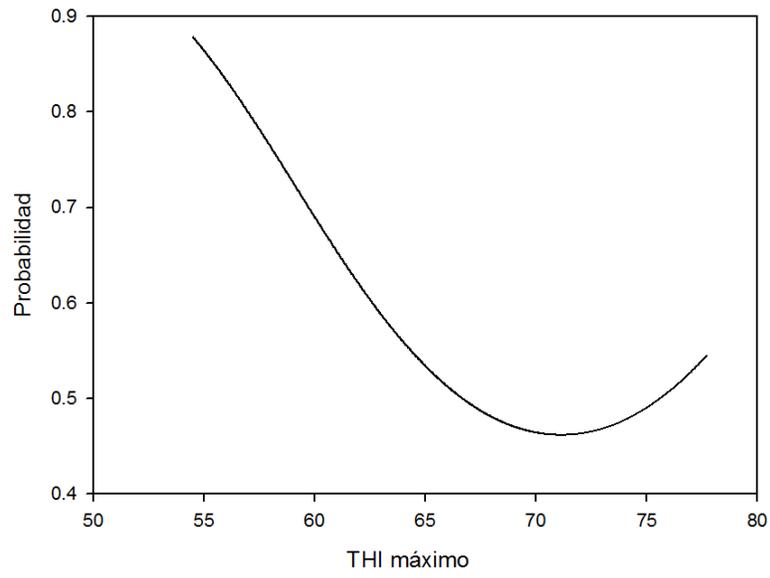


FIGURA 6. Asociación entre el THI máximo y la probabilidad de que las vacas queden gestantes al primer servicio post-parto ($P < 0.01$).

IX. DISCUSIÓN

Los resultados descriptivos en cuanto al comportamiento de las variables climáticas a través del año, considerando 70 puntos de THI como límite umbral de confort, indican que en la región de estudio las vacas enfrentan una condición de estrés calórico ambiental, principalmente entre los meses de marzo a octubre. Así mismo, que los valores más altos de dichas variables se presentan durante los meses de abril, mayo y junio, los cuales corresponden a la estación de primavera en su mayor parte. Estos resultados muestran un comportamiento similar a los descritos en un estudio previo realizado por Flores *et al.* (2007) en la misma región de estudio. Además, los resultados en cuanto a los meses en que el THI máximo rebasó el umbral de 70 puntos en el presente estudio, muestran una similitud respecto a resultados observados en la cuenca lechera de Aguascalientes (Lozano *et al.*, 2005). Sin embargo, los valores de THI máximo en Aguascalientes son más elevados y permanecen constantes por más tiempo (entre 75 a 85 puntos por periodos de seis meses).

Los resultados obtenidos sustentan la hipótesis planteada, respecto a que la tasa de fertilidad se vería afectada por el aumento del índice temperatura-humedad, durante los meses que corresponden a las estaciones de primavera y verano. Sin embargo, cabe resaltar que la reducción de la tasa de fertilidad no ocurrió en todos los meses de primavera y verano, sino que dentro de cada estación se presentaron variaciones en la fertilidad por mes (Figura 3). En general, los meses con menor fertilidad corresponden a las estaciones de primavera y verano (mayo, junio, agosto y septiembre), aunque cabe resaltar que también se presentaron meses con fertilidad disminuida fuera de estas estaciones (octubre y diciembre), así como una buena fertilidad dentro del periodo primavera-verano (mes de julio). Esta condición heterogénea de la fertilidad dentro de estación, se corresponde con la heterogeneidad en el grado de estrés que podría estar asociado a un THI elevado y que se refleja en el comportamiento a través de los meses de las variables de respuesta que expresan esa condición (THI máximo, THI duración, THI carga; Cuadro 1 y Figuras 3, 4 y 5).

El hecho de haber obtenido una buena tasa de fertilidad en el mes de julio y una mala en el mes de octubre, podría estar asociado a la reducción y aumento respectivo en el THI máximo, THI duración y THI carga observado en estos meses (Cuadro 1). Lo anterior, por consecuencia implicaría reducciones y aumentos en el nivel de estrés calórico ambiental para las vacas servidas. En relación a esto, Huang *et al.* (2008) observaron que la tasa de fertilidad de vacas en establos lecheros de New York (EEUUA), disminuía durante los meses de mayo y junio pero tendía a incrementar a partir del mes de julio y que esto se relacionaba con los cambios en el nivel de estrés calórico ambiental estimado a partir de la valoración del THI. En estudios realizados en establos de tipo intensivo en México (Montiel *et al.*, 2012) y otros países (García-Ispuerto *et al.*, 2007), también se han observado diferencias entre meses o estaciones en las tasas de fertilidad.

Es importante considerar que durante el mes de julio, el elevado nivel de precipitación pluvial característico del mes (Ruiz *et al.*, 2003), está relacionado con la disminución en el nivel de estrés calórico ambiental. Sin embargo, asimismo está relacionado con un incremento en la disponibilidad de forraje en los agostaderos y por lo tanto una mejoría en la condición nutricional de las vacas, ya que en el sistema de producción smitecnificado/familiar, el forraje de los agostaderos constituye un componente importante de la dieta sobre todo durante la época de lluvias (Cervantes *et al.*, 2001; Olmos *et al.*, 2009). En los sistemas intensivos de producción, está plenamente demostrado que la condición nutricional de las vacas durante la lactación temprana influye positivamente sobre la fertilidad al primer servicio (Rodríguez *et al.*, 2008). En relación a esto, sería interesante establecer en qué grado el incremento de fertilidad observado en el mes de julio, se debió a un efecto independiente de los componentes nutricionales y climáticos antes mencionados o existe interacción entre estos, aspecto que hasta ahora no ha sido explorado.

Para el caso del nivel de fertilidad en el mes de octubre, también es interesante resaltar que en este mes se observó el valor más bajo de todos los meses y

aunque asimismo se presentó un incremento en el nivel de estrés calórico ambiental (Figuras 3, 4 y 5), éste no llegó a la magnitud de lo observado durante mayo y junio, meses con baja fertilidad pero no tan baja como en octubre. Lo anterior hace suponer, que durante el mes de octubre pudieron haberse presentado condiciones detrimentales para la fertilidad, que junto con el aumento de estrés calórico ambiental en el mes, determinaron que en octubre la fertilidad estuviera en su punto más bajo. En otros estudios, se ha determinado que la tasa de fertilidad no solamente se reduce por efecto del THI en el día del servicio, sino que también por un efecto de la carga calórica acumulada (niveles constantes de THI arriba del umbral 70 a través del tiempo), desde 5 semanas (Morton *et al.*, 2007) o dos meses previos (Antillón *et al.*, 2012) al día del servicio. De acuerdo a esto, en las vacas servidas en octubre pudiera estarse reflejando un efecto acumulativo de carga calórica, que potencializara el efecto negativo del aumento mensual en el estrés calórico ambiental sobre la fertilidad. Asimismo, no se puede descartar la participación de otros factores como exposición previa a agentes infecciosos sistémicos, salud uterina, cambios de condición corporal y nivel de producción, que pueden afectar la fertilidad al servicio (Rodríguez *et al.*, 2008), pero que no fueron valorados en el presente estudio y aleatoriamente pudieron expresarse en mayor medida durante octubre.

Por otra parte, en el análisis entre el THI máximo registrado el día del servicio y la tasa de fertilidad, se observó un efecto más claro en cuanto a la repercusión negativa de las condiciones estresantes relacionadas con el THI, ya que la probabilidad de que las vacas quedaran gestantes se redujo conforme los valores de THI máximo aumentaron (Figura 6).

Los resultados del análisis de regresión logística entre el THI máximo y la fertilidad, sugieren que las vacas en la región de estudio están sujetas a una condición de estrés calórico ambiental que afecta su desempeño reproductivo. Lo anterior, puede ser sustentado por el hecho de que de acuerdo al análisis, la probabilidad de que las vacas quedaran gestantes se reduce de 0.85 a 0.45

cuando el THI máximo aumenta de 55 a 70 puntos el día del servicio. Estos resultados concuerdan con los de otros estudios (Lozano *et al.*, 2005; García-Ispuerto *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2008), en donde se ha observado que la tasa de fertilidad de las vacas tiende a reducirse conforme el THI aumenta y rebasa el umbral de confort de 70 puntos el día del servicio.

En dos interesantes revisiones al respecto (Rensis y Scaramuzzi, 2003; Hansen, 2009), se ha descrito que los efectos negativos del estrés calórico ambiental sobre el comportamiento reproductivo de las vacas, se lleva a cabo a través de dos mecanismos generales. El primero de ellos es derivado de los cambios involucrados en la regulación de la temperatura corporal elevada o hipertermia. Dentro de éste mecanismo, se incluye la redistribución del fluido sanguíneo hacia las regiones corporales periféricas, con el propósito de incrementar la pérdida de calor. Así mismo, la reducción del consumo de alimento, con lo cual se disminuye la producción metabólica de calor, pero a la vez se provocan cambios en el balance de energía y la disponibilidad de nutrientes, los cuales pueden afectar la función del eje neuroendocrino reproductivo (Hipotálamo-Hipófisis-Gónadas) y consecuentemente el establecimiento o mantenimiento de la gestación. El segundo mecanismo es asociado a las fallas del sistema de regulación de la temperatura corporal en condiciones de hipertermia, por lo tanto se refiere a un efecto más directo de la temperatura elevada. Dentro de éste mecanismo, se incluyen los efectos del choque térmico a nivel celular sobre los espermatozoides, ovocitos y/o embriones, con lo cual se puede afectar la competencia de éstos para iniciar o mantener la gestación.

En la regresión logística entre fertilidad al 1er servicio y THI máximo el día del servicio se encontró un efecto cuadrático significativo, con un ligero incremento en la probabilidad de gestación cuando el THI máximo se incrementa de 74 a 78 puntos (Figura 6). Este efecto aunque es pequeño, es difícil de explicar y podría estar asociado a factores no incluidos en el diseño del presente trabajo, como son

el historial de exposición a cargas calóricas estresantes u otros factores que afectan la fertilidad al servicio (Rodríguez *et al.*, 2008).

Por último, no se encontró relación entre la fertilidad a 1er servicio y los valores de THI duración y THI carga el día del servicio. En términos generales, estas variables representan un efecto de acumulación de carga o estrés calórico por día más que un efecto agudo como puede ser el THI máximo del día. Aunque el THI duración y THI carga del día incorporan el THI máximo de ese día, es evidentemente que su relación con la fertilidad, si es que existe, debe ser diferente a la observada en el caso del THI máximo. De nueva cuenta sería interesante evaluar el efecto de estas variables sobre la fertilidad desde una perspectiva de acumulación de carga calórica pre- y post-servicio.

X. CONCLUSIONES

Con base a los resultados, se concluye que en la región de estudio (Altos Sur del estado de Jalisco), los valores alcanzados por el índice temperatura-humedad pueden generar una condición de estrés calórico ambiental en las vacas lecheras. Así mismo, que la tasa de fertilidad en las vacas bajo el sistema de producción semitecnificado/familiar puede ser afectada por el efecto del estrés calórico ambiental. Además, que aunque la mayor parte de los meses con baja tasa de fertilidad y alto nivel de estrés calórico ambiental corresponden a la estación de primavera, existen fluctuaciones por mes dentro de estación en ambos, mismas que deberán considerarse en los análisis para establecer si hay relación entre estos dos factores.

XI. LITERATURA CITADA

- Alemán, M. V., Martínez, S. J. A., Flores, L. H. E., Díaz, M. P., Ramírez, V. H., y Byerly, M. K. F. (1996). Publicación integral de la cuenca agropecuaria y forestal El Jihuite: diagnóstico socioeconómico de la cuenca El Jihuite. Publicación Especial Num. 1. INIFAP.18-24p.
- Antillón, J., Barceló, M., Anchondo, A., Rodríguez, F.A. (2012). Incidencia de estrés calórico y su impacto en la tasa de preñez de un establo en Jiménez, Chihuahua. 2da reunión internacional conjunta de manejo de pastizales. Mesa de trabajo: rumiantes mayores. Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- Arias, L. E., Tovar, M. R., Núñez, G., Bonilla, J. A., Osuna, E. A., Estrada, E., Villarreal, J. H. (2012, Septiembre). Tipología de los sistemas de lechería familiar en los altos de Jalisco, México. 2da reunión internacional conjunta de manejo de pastizales y producción animal. Mesa de trabajo: rumiantes mayores. SOMMAP, Zacatecas. México. 16-21p.
- Armstrong, D. V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. Symposium: Nutrition and heat stress. J. Dairy Sci. 77:2044-2050.
- Ayres, F. J. (1989). Calculo diferencial e integral. EUA. Editorial McGraw-Hill.
- Bauman, D. E. and Currie, W. B. (1980). Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeostasis. J. Dairy Sci. 63:1514.
- Berrey, W. D. (1985). Multiple regresión in practice. Beverly Hill. Sage Publications.
- Caballero, G. M. A. (2010). La industria de la leche en México: conductas y tendencias. Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Colegio De Posgraduados. México.
- Camacho, M. F. J. (1994). Frecuencia de bacterias patógenas asociadas a enfermedades del tracto genital de bovinos lecheros de la Sociedad de Productores de Leche de Acatic, Jalisco. Tesis Lic. M.V.Z., Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco.
- Gaughan, J. B., Mader, T. L. Holt, S. M. Josey, M. J., Rowan, K. J. (1999). Heat tolerance of boran and tuli crossbred steers. J. Animal Sci., 77:2398-2405.
- Cervantes, E. F., Santoyo, C. H., y Álvarez, M. A. (2001). Lechería Familiar: Factores de éxito para el negocio. Plaza Valdez, México.
- Cosgrove, J. R., Milton, J. E., Hunter, M. G., Foxcroft. G. R. (1992). Gonadotropin-independent mechanisms participate in ovarian responses to refeeding in feed-restricted prepubertal gilts. Biol. Reprod. 47:736-745.
- Cuevas, R. V., Espinosa, G. J. A., Flores, M. A. B., Romero, S. F. Velez, I. A., Jalapa, B. J. L., Vazquez, G. R. (2005). Diagnóstico y prospección de la cadena productiva de leche de vaca en el estado de Hidalgo. Informe final, INIFAP. México.
- Cunningham, G. J. (2003). Fisiología veterinaria. Tercera edición en español. México. Elsevier.

- Daniel, W. W., (2005). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. México. Limusa Wiley.
- Dawson, S. B. and Trapp, R. G. (2001). Bioestadística Médica. México. Manual modern, D.F. 403 pág.
- Del Valle, R. M. C., Álvarez, M. A. G. (1997). La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos del TLCAN. Memorias de LASA. Hotel Continental Plaza, Guadalajara, Jal. México, Abril 17–19 de 1997.
- De Rensis, F., Marconi, P., Capelli, T., Gatti, F., Facciolongo, F., Franzini, S., Scaramuzzi, R. J. (2002). Fertility in postpartum dairy cows or summer following estrus synchronization and fixed time AI after the induction of an LH surge with GnRH o hCG. *Theriogenology*. 58:1675-1687.
- De Rensis, F. and Scaramuzzi, J. R. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow- a review. *Theriogenology*. 60:1139-1151.
- Edwards, J. L., and Hansen, P. J. (1997). Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol. Reprod. Dev.* 46: 138-145.
- Flores, H. E., J. J. Olmos, H. Ramírez, V. O. Fuentes, O. Reynoso y H. Moreno. (2007, Noviembre). ET-59 Caracterización del sistema de producción de leche de la cuenca hidrográfica El Jihuete, Jalisco, México. Memorias del II Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. La Habana, Cuba.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Santolaria, P., Yáñez, J. L., Nogareda, C. and López-Béjar, M. (2007). Factors affecting the fertility of high producing dairy herds in northeastern Spain. *Theriogenology* 67: 632-638.
- Grimard, B., Freret, S., Chevallier, A., Pinto, A., Ponsart, C. and Humblot, P. (2006). Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Anim. Reprod. Sci.* 91: 31-44.
- Guzeloglu A., Ambrose J. D., Kassa T., Diaz T., Thatcher M. J., Thatcher W. W. (2001). Long-term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress. *Anim Reprod Sci.* 66:15-34.
- Hansen, P.J., Drost, M., Rivera, R. M., Paula-Lopes, F.F., Al-Katanani, Y.M., Krininger III, C.E., and C.C. Chase, Jr., (2001). Adverse impact of the heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology*. 55: 91-103.
- Hernández C. J. (2000). Causas y Tratamiento de la infertilidad en la vaca lechera. Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional Autónoma de México, 04510.México.
- Huang, C., Tsuruta S., Bertrand J. K., Misztal, I., Lawlor, T. J. y Clay, J.S. (2008). Environmental effects on conception rates of Holstein in New York and Georgia. *J. Dairy Sci.* 94:818-825.
- Joanne, P. C., Lida, L. K., Ingersoll, G. M. (2002). An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting. Indiana, University-Bloomington. EUA.
- Jonsson, N. N., McGowan, M. R., McGuigan, K., Davison, T. M., Hussain, A. M., Kafi, M. and Matschoss A., (1997). Relationships among calving season, heat load, energy balance and postpartum ovulation of dairy cows in a subtropical environment. 47:315-326.

- Jordan E. R. (2003). Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.):E104–E114
- Lozano, D. R. R., Vasquez, P. C. G., Gonzalez, P. E. (2005). Efecto del estrés calórico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México. *Vet. Mex.* 36(3):245-260.
- Lucy M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J Dairy Sci*;84:1277-1293
- Martínez, L. R., Salazar, G. G., Ramírez, V. F., y Zorrilla, R. J. (1997). Perfiles reproductivos en hatos bovinos del sistema de lechería familiar. XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, Mex. 435 p.
- Martínez, S. J. A., Alemán, M. V., y Cadena, I. P. (2003). Sistema rancharo alteño de producción de leche (SRAPL): Una descripción Inicial. Publicado en: J. A. Trujillo Bretón y F. de la Torre de la Torre (comps.), 2004. Seminario de Estudios Regionales, Anuario. CUALTOS–UDG. 33-52 p.
- Mellado, M. (1995). Respuesta fisiológica, producción de leche, eficiencia reproductiva y salud del ganado lechero expuesto a temperaturas ambientales elevadas. Estudio recapitulativo. *Vet. Méx.* 26(4):389-399.
- Montiel, O.L.J., Espinosa, M.M.A., Estrada, C.E., Vera, A.H., y Ruiz, L.F.J. (2012). Relación de días a primer servicio y días a primer estro con la fertilidad a primer servicio. 12º Congreso Internacional de Médicos Veterinarios y Zootecnistas Especialistas en Bovinos de la Comarca Lagunera. CENID Fisiología y mejoramiento Animal-INIFAP; CE Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Torreon, Coahuila.
- Morton, J. M., Tranter, W. P., Mayer, D. G. y Jonsson, N. N. (2007). Effects of environmental heat on conception rates in lactating dairy cows: Critical periods of exposure. *J. Dairy Sci.* 90:2271-2278.
- National Research Council. (1981). Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. *Natl. Acad. Sci.*, Washigton, DC.
- Núñez, H. G., Vera, A. H. R., Román, P. H. (2009) Importancia y procesos en la producción de leche de bovino en México. En: Producción de Leche de Bovino en el Sistema Familiar. Vera AHR, Hernández AL, Espinosa GJA, Ortega RL, Díaz AE, Román PH, Núñez HG, Medina CM, Ruíz LFJ. Primera Edición. Libro Técnico No. 24. INIFAP-CIRGOC. México, Veracruz. 3-5p.
- Olmos, C. J. J., Castellanos, S. M. E., Martínez, S. J. A., Reynoso, C. O., Ramírez, V. H., Iñiguez, G. O., Wattiaux, M., Blazek, J. (2009). Sistemas de Alimentación de Vacas Lecheras y Calidad de Forrajes en Los Altos de Jalisco. 2º Evento internacional de leche y forrajes. CU-Altos, Universidad de Guadalajara. Tepatitlán de Morelos, Jalisco.
- Peralta, A. M. A., Lastra, M. I. (1999). Programa de producción de leche y sustitución de importaciones. En: Dinámica del sistema lechero mexicano en el marco regional y global. Eds. Martínez BE, Álvarez MA, García HLA y del Valle MC. Ed. Plaza y Valdés Editores. México, pp 223-236. En línea:
- Reynoso, C. O., Romano, J. L., Flores, L. H. E., y Olmos, C. J. (2007). Situación de la ganadería lechera en la región de los altos de Jalisco en relación al entorno nacional e internacional. Primera reunión internacional sobre

sistemas de producción de forrajes y leche. Tepatitlán de Morelos, Jal., CUALTOS - U D G.

- Richards, M. W., Thatcher, W. W., Wetteman, R. P. (1995). Influence of diet and ambient temperature on bovine serum insulin-like growth factor-I and thyroxine: relationships with non-esterified fatty acids, glucose, insulin, luteinizing hormone and progesterone. *Anim. Rep. Sci.* 37:267-279.
- Rodriguez, M. H., Hultgren, J., Båge³, R., Bergqvist, A, S., Svensson, C., Bergsten, C., Lidfors, L., Gunnarsson, S., Algers, B., Emanuelson, B., Berglund, B., Andersson, G., Lindhé, B., Stålhammar, H., and Gustafsson, H. (2008). Reproductive Performance in High-producing Dairy Cows: Can We Sustain it Under Current Practice? In: *IVIS Reviews in Veterinary Medicine*, I.V.I.S. (Ed.). International Veterinary Information Service, Ithaca NY (www.ivis.org), Last updated: 12-Dec-2008; R0108.1208
- Roth, Z., Arav, A., Zeron, Y., Braw-Tal, R., Wolfenson, D. (2001). Improvement of quality of oocytes collected in the autumn by enhanced removal of impaired follicles from previously heat stressed cows. *Reproduction*. 122(5):737-744.
- Ruiz, C. J. A., González, A. I. J., Anguiano, C. J., Vizcaíno, V. I., Ibarra, C. D., Alcalá, G. J., Espinosa, V. S., Flores, L. H. E. (2003). Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1961-2000): Primera edición. Jalisco, México. Libro técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. 162-163.
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B. and Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.): E52-E77.