

**EFFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y SEMEN
(FRESCO O CONGELADO) SOBRE EL DESEMPEÑO
REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN TRATADAS CON
SOMATOTROPINA**

ING. EDGAR SEPÚLVEDA GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Unidad Laguna

Dirección de postgrado

Torreón, Coahuila, México
Diciembre del 2009.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Unidad Laguna

Dirección De Postgrado

EFFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMATICAS Y SEMEN (FRESCO O CONGELADO) SOBRE EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN TRATADAS CON SOMATOTROPINA
TESIS

ING. EDGAR SEPÚLVEDA GONZÁLEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Comité particular de asesoría:

Asesor Principal



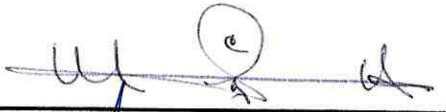
Dr. Miguel Mellado Bosque

Asesor



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras

Asesor



Dr. Cesar Alberto Meza Herrera



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Director de Postgrado



MC. Gerardo Arellano Rodríguez

Jefe del Departamento de Postgrado U.L.

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2009

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis lo dedico y a mis padres Rodolfo Sepúlveda Chapa y Lydia González Campos, y a mi esposa Clara María Moreno Valdez, por haberme brindado un hogar lleno de amor, comprensión, enseñanzas, valores, paciencia, apoyo y confianza.

A mi abuelita Margarita y a mi tía Cristina, a mis hermanos y amigos, por acompañarme en los momentos más importantes y por haberme brindado su apoyo incondicional, cariño y comprensión a cada momento.

También quiero dedicar este trabajo a todas las personas que confiaron en mí y que me brindaron su apoyo en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy especial a mi ALMA TERRA MATER la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ya que me brindó la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado, proporcionándome las herramientas necesarias para ello durante mi estancia en esta institución.

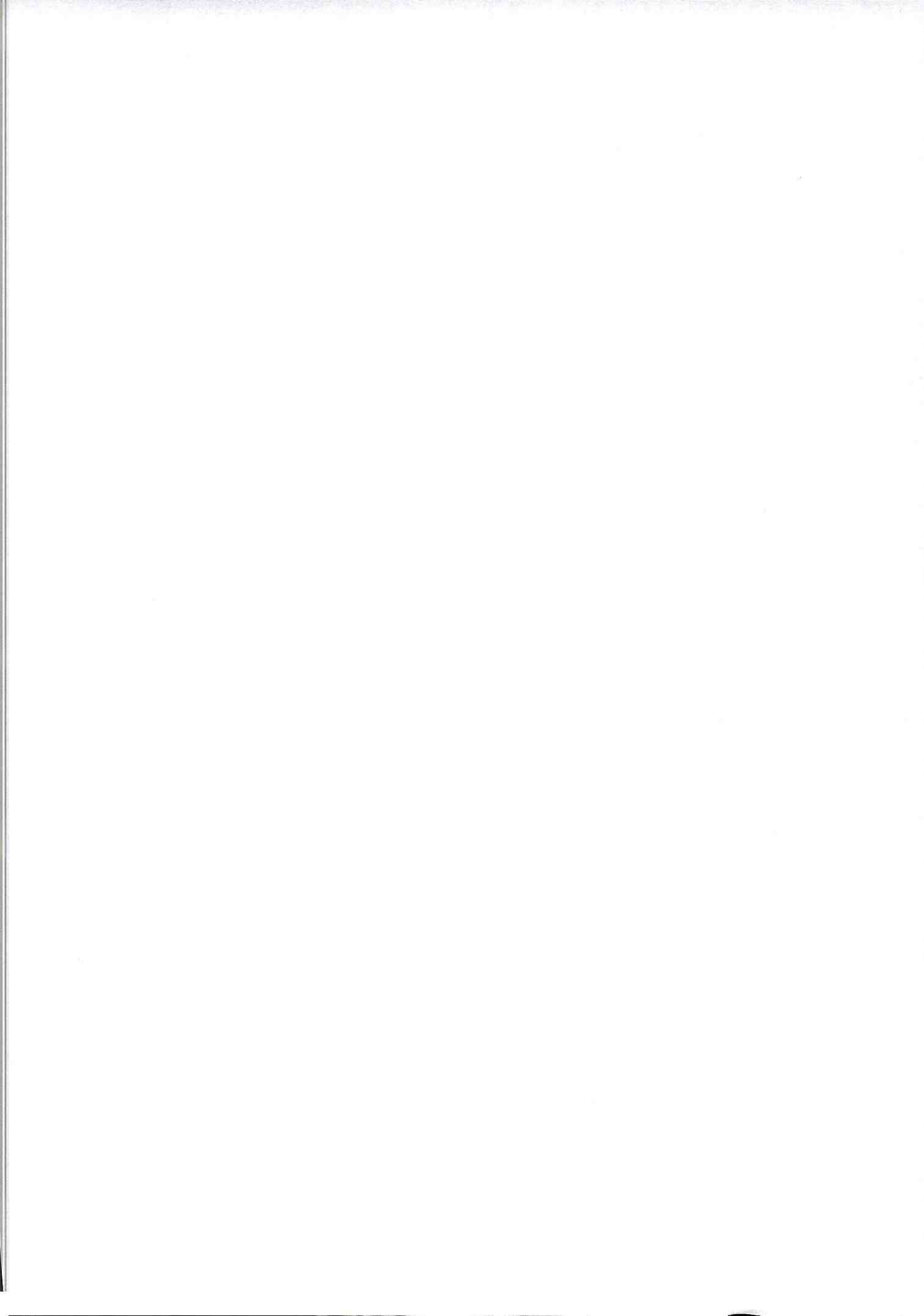
A Dios por que en realidad fue Él quien me permitió cumplir con mis objetivos dándome salud, rodeándome de gente buena, capaz y cobijándome con su manto a cada momento de mi vida.

Agradezco especialmente a mi asesor principal: Dr. Miguel Mellado Bosque, por haberme brindado su apoyo, su experiencia y su conocimiento mostrando una extraordinaria dedicación y compromiso para realizar este trabajo. También al Dr. Francisco Gerardo Veliz Deras quien siempre fue pieza

clave para mi aprendizaje, desarrollo de habilidades de investigación, además de un gran apoyo en todo momento, brindándome siempre su confianza y amistad, además por haberme invitado a participar en diferentes proyectos de investigación, reforzando así mi formación como Maestro en Ciencias Agrarias. Al Dr. Cesar Alberto Meza Herrera, quien siempre mostro una gran disposición y por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica, en un marco de confianza, afecto y amistad, siendo fundamentales para concretar este trabajo.

Agradezco también a aquellas personas que me brindaron su apoyo y que han sido parte fundamental en mi estancia dentro de la universidad, de quien he recibido su consejo, palabras de aliento, soporte y su amistad, además de siempre una buena cara de parte de ellos, agradezco al Dr. Jorge Galo Medina Torres, al Dr. Carlos Javier de Luna Villareal, al Dr. Álvaro Rodríguez Rivera, al Ing. Héctor Estrada Flores, al Dr. Esteban Favela Chávez, al MC. José Jaime Lozano García, al Dr. Rafael Rodríguez Martínez, al Dr. Pedro Antonio Robles Trillo, al MC. Gerardo Arellano Rodríguez, al Ing. Eliseo Raygoza Sánchez y a todos aquellos que con su trabajo hicieron posible mi formación dentro de la universidad.

Agradezco al CONACyT, por haberme brindado la oportunidad de dedicarme completamente a mis estudios de posgrado, proporcionándome apoyo económico mediante su programa de becas.



INDICE

	PÁGINA
1. COMPENDIO.....	1
1.1. ABSTRACT.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
4. HIPOTESIS.....	7
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
5.1. Estrés calórico y tasa de Preñez.....	9
5.2. Índice de temperatura-humedad (ITH).....	14
5.3. Aclimatación.....	16
5.4. Respuesta folicular.....	19
5.5. Función ovárica.....	20
5.6. Mortalidad embrionaria.....	21
5.7. Termotolerancia.....	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
6.1. Localización.....	28
6.2. Animales y su manejo.....	28

6.3. Manejo sanitario	31
6.4. Programa reproductivo	32
6.5. Producción de leche	33
7. DISEÑO EXPERIMENTAL	34
7.1. Índice de temperatura-humedad (ITH).....	34
7.2. Variables evaluadas.....	35
7.3. Análisis estadístico	35
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
9. CONCLUSIONES	46
10. LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperatura máxima promedio mensual y humedad relativa del área de estudio durante un periodo de 6 años.	30
Esquema 1. Proceso mediante el cual se lleva acabo la IA.	33
Tabla 1. Tasa de preñez (%) cuando el ITH antes o después de la IA era menor o mayor que en el día de la IA.....	36
Figura 2. Porcentajes de concepciones a través del año en vacas inseminadas con semen artificial o semen fresco (monta natural).	39
Figura 3. Relación entre el índice de temperatura humedad el día de la inseminación con la tasa de preñez de vacas Holstein en el noreste de México.....	42
Tabla 2. Variables reproductivas de vacas Holstein en el noreste de México, en función del mes de parto.....	44

1. COMPENDIO

EFFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y SEMEN (FRESCO O CONGELADO) SOBRE EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE VACAS HOLSTEIN TRATADAS CON SOMATOTROPINA

Por

EDGAR SEPÚLVEDA GONZÁLEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" UL

Se utilizaron 18,037 registros de inseminaciones de vacas Holstein manejadas intensivamente en un establo lechero en el norte de México, para evaluar la asociación entre el índice temperatura-humedad $[(ITH = (0.8 \times \text{Temperatura} + (\text{Humedad relativa}/100) \times (\text{Temperatura}-14.4)+46)]$, antes y después de la inseminación, con el comportamiento reproductivo de las vacas. Las vacas que fueron inseminadas en los días cuyo rango del ITH fue de 75-80, los ITH superiores a los ocurridos uno o tres días antes de la inseminación deprimieron ($P < 0.05$) la tasa de preñez en 6-7 puntos porcentuales, comparado con las tasa de preñez observadas con ITH más bajos uno o tres días antes de la inseminación. La tasa de preñez también se redujo 5 puntos porcentuales en aquellas vacas expuestas a temperaturas $> 85-90$ unidades de ITH ($P < 0.05$) tres días posteriores a la inseminación artificial. En un rango de ITH entre 80 y 85 unidades, los índices más altos antes y después de la inseminación a los

observados el día de la inseminación, nuevamente repercutieron negativamente ($P= 0.2-0.8$) sobre las tasas de preñez de las vacas. Al considerar condiciones climáticas no extremas ($ITH=75-80$) al momento de la inseminación, los índices >80 antes de la inseminación no repercutieron negativamente en las tasas de preñez. Sin embargo, cuando el ITH fue >80 un día después de la inseminación, la tasa preñez se redujo en 5 puntos porcentuales ($P<0.05$). Las tasas de preñez fueron más altas ($P<0.05$) de enero a marzo comparadas con otros meses del año. Por otra parte, el promedio de inseminaciones por preñez fue mayor de mayo a julio (3.0-3.4) comparado con otros meses del año (2.1-3.0). Se presentó una disminución de la tasa de concepciones cuando se usó la inseminación artificial, comparada con la monta natural (36% vs 28%; $P>0.01$). Se concluyó que las condiciones climáticas del sitio donde está localizado esta explotación lechera tienen drásticas repercusiones en el comportamiento reproductivo de vacas Holstein ordeñadas tres veces por día y tratadas con somatotropina a través de la lactancia.

1.1. ABSTRACT

EFFECT OF CLIMATIC CONDITIONS AND SEMEN (FRESH OR FROZEN) ON THE REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF HOLSTEIN COWS TREATED WITH SOMATOTROPIN

By

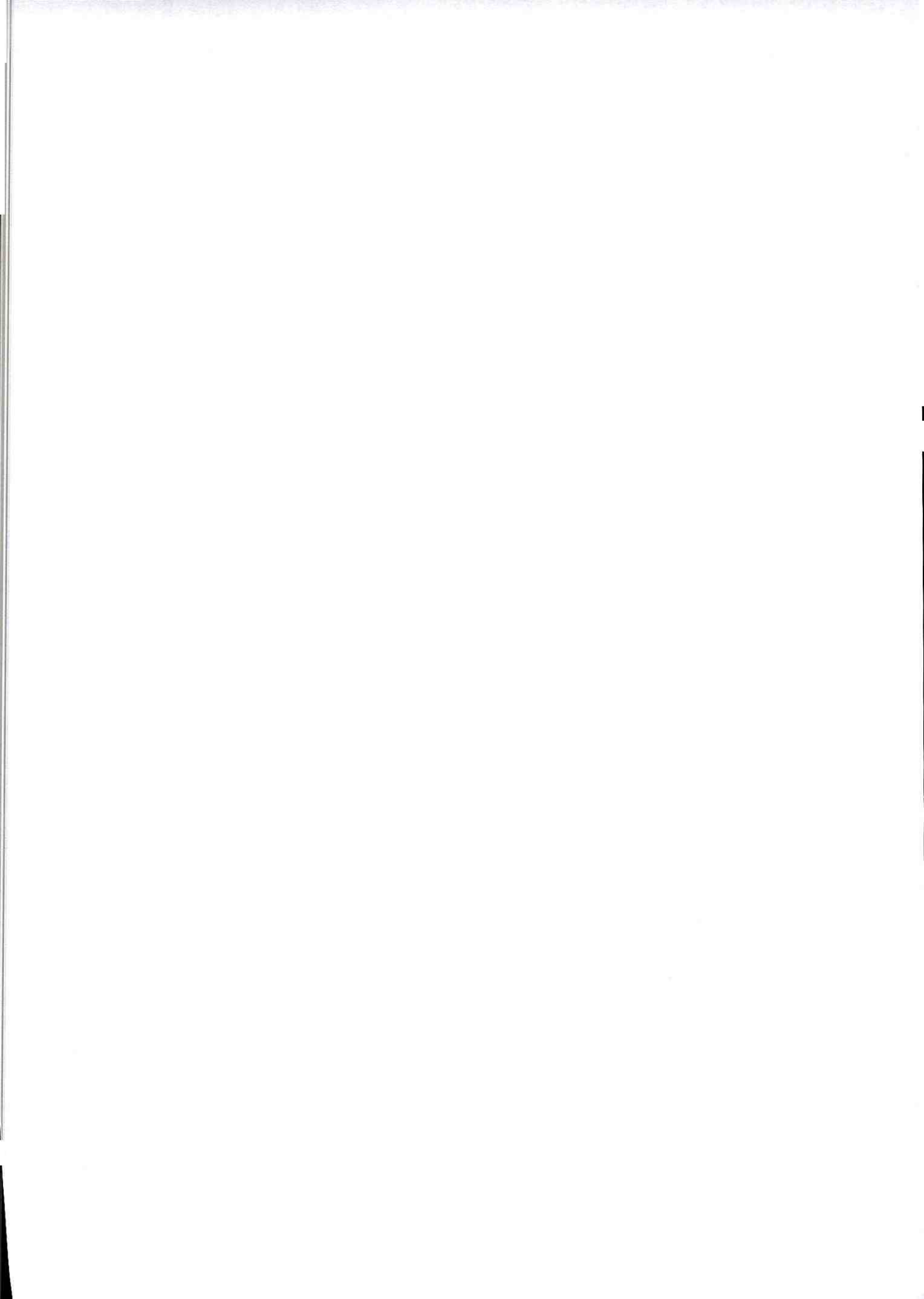
EDGAR SEPÚLVEDA GONZÁLEZ

MASTER IN AGRARIAN SCIENCE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" UL

Reproductive variables (n= 18,037 services) of a large Holstein dairy herd in northern Mexico were evaluated with respect to the average temperature-humidity index [(ITH= $(0.8 \times \text{temperature} + (\text{relative humidity}/100) \times (\text{temperature} - 14.4) + 46)$] of the 1 and 3 days prior to breeding, the day of breeding, and 1 and 3 day following breeding. Seasonal high environmental temperatures were associated with low breeding efficiency. Increased ITH from <70 to >95 was associated with a decrease in pregnancy rate from 47% to 26%. Pregnancy rates for cows serviced on days with an ITH 85-90 but cooler temperatures before breeding were 6 percent points higher than cows exposed to higher ITH before breeding. Pregnancy rates for cows serviced on days with an ITH 80-85 but cooler temperatures before breeding were 3-4 percent points higher than cows exposed to higher ITH before insemination. Pregnancy rates for cows serviced on days with an ITH 75-80 but cooler temperatures before breeding did not differ compared to cows exposed to higher ITH before

insemination. With ITH cooler the days after insemination pregnancy rates were also higher for all ITH classes the day of breeding. Pregnancy rates were higher ($P < 0.05$) from January to March compared with all other months of the year. On the other hand, the average number of inseminations per pregnancy was higher from May to July (3.0-3.4) than from all other months of the year (2.1 to 3.0). Pregnancy rate was higher (36 vs 28%) with insemination with fresh semen (natural mating) than frozen semen. It was concluded that the climatic conditions of the site where this dairy operation is located, drastically hampers the reproductive performance of Holstein cows subjected to three milking and treated with somatotropin throughout lactation.



2. INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es considerada la cuenca lechera más grande de Latinoamérica, y por lo tanto, la de mayor importancia en el País. Actualmente, la producción de leche constituye una de las actividades económicas más importantes de la región dado su impacto laboral y la derrama económica que ésta genera, además, se complementa con la actividad agrícola de una manera muy estrecha, consumiendo grandes cantidades de forrajes y granos que se producen en la región. En el año 2005 la Comarca Lagunera contaba con un inventario de vacas lecheras de 472,455 cabezas, constituyendo el 21.5% de la cantidad total en el País, ya que según el SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2009), México cuenta con 2,197,346 cabezas de ganado destinado a la producción de leche. Los Estados que cuentan con los mayores porcentajes de vacas lecheras después de la Región Lagunera son, Chihuahua y Jalisco con un 9.87 y 9.84%, respectivamente. Cifras preliminares para el año 2009, muestran que en la región Lagunera se está produciendo el 20.83% del total de la leche que se produce en el País, que corresponde a 2,250,843 miles de litros, seguido por el Estado de Jalisco con un 17.24% con una producción de 1,863,665 miles de litros (SIAP, 2009).

Actualmente se considera que existe un déficit de leche en el país de aproximadamente 5 millones de litros diarios, ya que se requieren 32 millones de litros diarios de leche y solamente se producen entre 26 y 27 millones a nivel Nacional, produciendo la región Lagunera aproximadamente 5.5 millones de

litros diarios (SIAP, 2009). Se calcula que aproximadamente se importa el 40% de la leche que se consume en el país y esta proviene principalmente de los Estados Unidos, la Unión Europea y Nueva Zelanda.

Existen varios factores que afectan la producción de leche tales como las enfermedades, ya sean metabólicas, derivadas del parto, problemas podales, mastitis, etc., las cuales son un factor limitante en la producción; además, una inadecuada nutrición trae como consecuencia una baja en la producción de leche. El factor genético es muy importante ya que por medio del mejoramiento genético se pueden obtener vacas con resistencia a enfermedades, mayor producción de leche y, mayor fertilidad. El ganado lechero también es afectado por factores medioambientales como son: temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación pluvial y viento.

El impacto de temperaturas elevadas en el ganado lechero resulta en una baja en la eficiencia productiva y reproductiva, acentuándose fundamentalmente en la eficiencia reproductiva (Collier et al., 2006). Cuando el ganado bovino está sujeto a una temperatura en la que ya no le es posible estar confortable, y por el contrario, se encuentra en un ambiente demasiado cálido, se considera que está sufriendo de estrés calórico. Una herramienta comúnmente utilizada para medir y saber cuál es la temperatura en la cual se llega a niveles de estrés calórico es el índice de temperatura y humedad (ITH).

3. OBJETIVOS

Determinar el impacto de la temperatura ambiental en combinación con la humedad relativa, sobre el desempeño reproductivo de vacas Holstein tratadas con somatotropina, en la Comarca Lagunera.

Determinar el efecto del mes de parto sobre la fertilidad de vacas Holstein sometidas a tres ordeñas y tratadas con somatotropina durante la lactancia, en la Comarca Lagunera.

Determinar el efecto del semen (congelado o no congelado) sobre la tasa de concepción de vacas Holstein bajo manejo intensivo en la Comarca Lagunera.

4. HIPÓTESIS

Las condiciones extremas de calor en la Comarca Lagunera tienen un efecto negativo marcado sobre el desempeño reproductivo de las vacas Holstein sometidas a tres ordeñas y tratadas con somatotropina.

La época del año influencia la tasa de preñez y otros parámetros reproductivos de vacas Holstein de la Comarca lagunera.

Las tasas de preñez de las vacas Holstein sujetas a estrés térmico son diferentes en vacas inseminadas con semen congelado o semen fresco (monta natural).

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Estrés calórico y tasa de preñez

El ganado bovino lechero es afectado durante los meses cálidos del año de diferentes maneras, siendo una de ellas la reproducción. Cuando el ganado lechero ha sido sujeto a estrés calórico su eficiencia reproductiva se reduce (Collier et al., 2006; Hansen, 2007). Las vacas bajo estrés calórico reducen la duración e intensidad del celo (West, 2002), el número de montas por estro (White et al., 2002), alterando el desarrollo folicular (Santos et al., 2004) y afectando el desarrollo del embrión (Biggers et al., 1987). Debido a lo anterior, se han tomado diferentes medidas para reducir el impacto de la temperatura sobre el ganado, los métodos de enfriamiento más comunes son: sombras, aspersores, rociadores y enfriadores de vapor (Jordan, 2003). Principalmente son cinco los factores medioambientales que provocan estrés térmico, estos son: temperatura del aire, humedad relativa, movimiento del aire, radiación solar y precipitación (Igono et al., 1992). Si bien el enfriador puede ser inadecuado para eliminar el estrés calórico, además es posible que los óvulos ya hayan sido dañados por el estrés calórico durante el período de 42 días antes de haber iniciado el enfriamiento (Hansen, 2002).

El estrés calórico en el verano da como resultado una reducción en la tasa reproductiva en el ganado vacuno (Gwazdauskas, 1985). Cambios

medioambientales en la temperatura y la humedad están cercanamente correlacionados con disminuciones estacionales en los porcentajes de preñez en el ganado bovino. Una temperatura elevada al tiempo de la inseminación o durante los primeros días después de ésta, afecta de manera adversa el porcentaje de preñez (Ulberg and Burfening, 1967; Gwazdauskas et al., 1973; Badinga et al., 1985).

En un estudio en Aguascalientes, México, se observó una relación negativa entre el índice temperatura-humedad promedio del mes de servicio (THI) y la tasa de gestación, donde por cada unidad de incremento del THI se redujo la tasa de gestación en 1.03%. La tasa de gestación fue menor de mayo a septiembre que de octubre a abril. Las vacas con producciones de leche mayores a 8,500 l tuvieron menor tasa de gestación en octubre, noviembre, diciembre y enero, que las de producciones de leche menores. Los índices temperatura-humedad el día del servicio (THIS) afectó la tasa de gestación en vacas de todos los estratos de producción. Por otro lado, en vacas con producción mayor a 8.500 l, el THIS mostró efecto negativo en tasa de gestación a valores mayores a 75.9, en comparación con las vacas de menor producción que fueron afectadas a partir de valores de THIS 74 (Lozano Domínguez et al., 2005).

En otro trabajo en una zona más calurosa de México (Mexicali, BC), se evaluaron los efectos de la inseminación artificial (IA) a tiempo fijo más un período corto de enfriamiento ambiental sobre la tasa de concepción y

respuesta fisiológica de vaquillas bajo estrés calórico. Noventa vaquillas Holstein fueron distribuidas en un grupo testigo (T1) con detección visual de estro e IA mañana-tarde (n= 30); un segundo tratamiento (T2) con IA a tiempo fijo (n= 30) y (T3) con el mismo protocolo de IA de T2 más un período de enfriamiento ambiental (ventilación y aspersion) de las vaquillas 11 d antes y 21 d después de la IA (n= 30). El experimento se llevó a cabo en dos períodos (25 de junio al 26 de julio y 15 de agosto al 16 de septiembre). En el primer periodo las vaquillas en T3 presentaron una temperatura rectal (39.4°C) más baja en comparación con T1 (39.68°C) y T2 (39.67°C). La tasa de concepción no difirió entre T3 (64.3%) y T1 (46.7%), pero ambos mostraron una tendencia a ser mayores a T2 (13.3%). En el segundo período la temperatura rectal en T3 (39.2°C) fue menor que en T1 (39.6°C) y T2 (39.6°C). La tasa de concepción fue similar entre T3 (40%), T1 (13%) y T2 (13%). La tasa de concepción total (incluyendo los dos periodos) tendió a ser más alta en T3 (51.7%) con respecto a T2 (13.3%) y T1 (30.0%) (Correa-Calderón et al., 2009).

Los autores anteriores determinaron también el efecto del uso de aspersores y abanicos sobre la eficiencia productiva y reproductiva de vacas Holstein en el Valle de Mexicali, Baja California. Sesenta y una vacas Holstein multíparas al inicio de la lactancia se asignaron a dos tratamientos: un grupo testigo sólo con sombra en el centro del corral (S) y otro grupo con un sistema de enfriamiento bajo la sombra (E). El estudio duró 135 d, de mayo a septiembre, con temperaturas máximas diarias entre 39 y 49°C y humedad relativa entre 30 y 50%. La tasa de respiración fue mayor en las vacas (S) (87.8

± 1.8 respiraciones/min) comparadas con las (E) (68.7 ± 1.7 respiraciones/min). La tasa de preñez fue mayor en las vacas mantenidas en el sistema de enfriamiento (92%) respecto a las que sólo tenían sombra (50%). Al final del experimento, la condición corporal no fue diferente entre tratamientos (Correa-Calderón et al., 2002).

También en México, en una zona con altas temperaturas (la Comarca Lagunera), se inseminaron vacas Holstein cuando el índice de temperatura-humedad era de 72 unidades, lo que indicaba que se encontraban en condiciones de estrés calórico. Estos autores observaron que la administración de GnRH en el día 5 postinseminación elevó las concentraciones plasmáticas de progesterona, pero no se incrementaron las tasas de concepción en vacas repetidoras Holstein con estrés térmico (Cruz et al., 2009).

García-Ispuerto, et al. (2007), estudiaron diversos factores que afectan la reproducción de vacas lecheras en 4 rebaños de Cataluña, España. Las granjas estaban dotadas de ventiladores que se ponían en marcha cuando se llegaba a la temperatura de 25°C. En este estudio se determinó que las fallas ovulatorias fueron 3.9 veces más altas cuando las vacas eran inseminadas en el verano, comparado con otros meses del año menos calurosos.

En climas más calientes se repiten los resultados del experimento anterior, en la Florida, por ejemplo, en el verano es común que las tasas de concepción se empiecen a reducir cuando la temperatura ambiental rebasa los 26°C, reduciéndose hasta un 5% cuando la temperatura rebasa los 35°C (Ingraham et al., 1974; Cavestany et al., 1985). En la Florida los porcentajes de preñez a primer servicio en vacas Holstein no pasan del 9% en los meses de junio y julio, mientras que en los meses de noviembre y diciembre los porcentajes de preñez al primer servicio son de 29 y 33%, respectivamente (Cavestany et al., 1985).

Los autores anteriores usando los mismos animales, demostraron que un alto ITH durante los 3 días antes de la IA, y especialmente el día 3 postinseminación, es altamente perjudicial para la fertilidad de vacas lecheras, debido a fallas ovulatorias que provoca el calor excesivo en las vacas. El ITH que se registró el mismo día de la IA tuvo también gran relevancia, probablemente porque el estrés por calor puede afectar a los ovocitos, espermatozoides y embriones con unas horas de vida. Los investigadores comprobaron también que si sólo se tiene en cuenta la temperatura ambiental, el día más importante para el éxito de la IA es el día 1 postinseminación, y que temperaturas superiores a 20°C ya son perjudiciales para el embrión de 1 día de vida y pueden interrumpir su desarrollo (Garcia-Ispierto et al., 2006).

Otros autores estudiaron la influencia de las condiciones climáticas (ITH) sobre la eficiencia reproductiva de vacas Holstein bajo las condiciones de Sudáfrica. Las tasas de concepción se relacionaron al ITH con un r^2 de 0.73. Las tasas más bajas de concepción en este estudio, alrededor de 40% se registraron en los meses más calientes del año (diciembre, enero y febrero), mientras que tasas de preñez de 60% se registraron en junio y julio (du Preez et al., 1991).

Por otra parte, se ha reportado que la tasa de concepción se redujo de 80 a 55% con el cambio de temperatura de 26 a 27.5°C en vacas Holstein en pastoreo en la zona tropical de Australia. Las tasas decrecieron sensiblemente cuando la precipitación pluvial anual superó los 1000 mm (Orr et al., 1993).

5.2. Índice de temperatura-humedad (ITH)

El índice temperatura-humedad (ITH) comúnmente es utilizado para indicar el grado de estrés en el ganado lechero (Fuquay, 1981; Armstrong, 1994). Esta combinación de variables, fue creada originalmente para calcular la sensación térmica de confort en los humanos, y posteriormente diversos autores observaron que era un buen indicador para caracterizar el estrés térmico del ganado productor de leche y carne (Mader et al., 2006; Bohmanova et al., 2007).

Este índice es una herramienta utilizada para ayudar a aminorar el estrés calórico en vacas lecheras, el cual es calculado en función de la temperatura y humedad relativa (Armstrong, 1994). Se han desarrollado diferentes fórmulas para asociar el estrés calórico en severo, medio y moderado en ganado lechero, siendo esta el ITH (Fuquay, 1981). La mejor manera para medir el estrés calórico es el índice de temperatura y humedad (ITH), basado en la máxima temperatura y la mínima humedad del día examinado. El inicio del estrés calórico inicia alrededor de 72 ITH, que corresponde a 22°C y 100% de humedad (Ravagnolo and Misztal, 2000). La habilidad de predecir los efectos de las extremas variables climáticas en el ganado es importante con respecto al bienestar y desempeño (productiva y reproductivamente) del mismo. El índice que combina la temperatura y humedad (ITH) a sido usado por más de cuatro décadas para evaluar el estrés calórico en ganado vacuno (Gaughan et al., 2008). El estrés calórico antes de la inseminación ha sido asociado con una disminución en la fertilidad del ganado lechero (al-Katanani et al., 1999).

Trabajando en ganado lechero Ravagnolo y Mistzal (2002) calcularon que por cada unidad de incremento de ITH en el día del servicio, se da una reducción de 0.5 % en la tasa de retorno al estro a los 45 días post-servicio. Mientras que en ganado productor de carne, estos autores calcularon el efecto de las condiciones ambientales sobre el índice de gestación, reportando que por cada unidad de incremento de ITH durante los primeros 21 días del

empadre, hay un descenso de tres unidades en la tasa de preñez (Amundson et al., 2006).

Cabe mencionar que el ITH sólo hace referencia a la relación entre la temperatura y la humedad, excluyendo a la velocidad del viento y la radiación solar, lo que puede interferir con la carga calórica que recibe un animal. Por lo anterior, diversas investigaciones han sugerido otros métodos de calcular el estrés calórico: el índice de humedad de globo negro (Buffington et al., 1981), índice de carga de calor (Gaughan et al., 2008), tasa de respiración (Eigenberg et al., 2007), y la escala de jadeo (Mader et al., 2006; Mader and Kreikemeier, 2006).

A pesar de que este índice no fue formulado con datos de ganado bovino, el ITH se asocia a la temperatura (Buffington et al., 1981; Gaughan et al., 2008). Recientemente se ha demostrado que diversos ITH fueron buenos pronósticos de la producción de leche en el sureste de los Estados Unidos de América (Bohmanova et al., 2007).

5.3. Aclimatación

El estrés para los animales se ha clasificado en dos grupos: estrés ambiental y por manejo. El estrés ambiental incluye al frío y/o calor, al viento y a la humedad. El estrés por manejo incluye a la densidad animal, a los

procedimientos de manejo, al flujo de animales, a la interacción entre animales de la misma o diferente especie y la condición social existente, como: angustia inespecífica, ruido; trauma físico, etc. (Coubrough, 1985).

La combinación de ambos tipos de estrés compromete al desempeño reproductivo de los animales. El ganado bovino, es una de las especies más adaptables y poseen mecanismos homocinéticos para mantener las funciones corporales críticas a expensas de cambios en otras funciones fisiológicas, como la reproducción, de tal manera que la función reproductiva es determinada, en gran medida por el ambiente (Mellado, 1995). El mantenimiento constante de la temperatura corporal normal se conoce como homotermia y es de importancia vital, para el funcionamiento de los tejidos encefálicos. En el bovino, la variación diurna normal en la temperatura corporal normalmente es de 0.6 a 1.2°C. Un aumento mayor a 1.2°C es signo de enfermedad o de mala adaptación a la elevación térmica. Este rango de temperatura se conoce como zona de confort, la cual varía de acuerdo a la especie y a las razas de animales. Cuando los animales tienen una temperatura corporal inferior o superior a su grado de confort, el ritmo metabólico disminuye o aumenta, presentándose un desequilibrio en el bienestar animal. La temperatura corporal, puede ser eliminada mediante los siguientes mecanismos: radiación, conducción, convección y evaporación (Mellado, 1995).

La aclimatación es una respuesta fisiológica durante la vida a estrés medioambiental y es un proceso homorrético, impulsado por el sistema endocrino (Horowitz, 2001; Collier et al., 2004). El tiempo requerido para la aclimatación varía en cada tipo de tejido y oscila entre pocos días y varias semanas, un ejemplo es el cambio metabólico en respuesta al estrés calórico, ya que éste se realiza en pocos días (Rhoads et al., 2007). En estudios in vitro e in vivo señalan que el contenido de proteína de las secreciones uterinas se incrementa con el estrés térmico. La secreción de prostaglandinas por el útero también incrementa con las altas temperaturas.

La sobrevivencia del embrión bajo las condiciones del útero antes descritas, se reduce considerablemente, debido a que durante sus primeros días de vida es muy sensible a altas temperaturas. El periodo más crítico para la sobrevivencia del embrión, con estrés térmico, es durante los primeros 37 días de vida (Córdova-Izquierdo et al., 2007). Los índices de concepción para vacas lactantes localizadas en el norte de Florida mostraron una disminución aproximada de 20% durante el verano (junio a agosto), y continuó siendo menor durante el otoño (septiembre y octubre) cuando las temperaturas no fueron tan estresantes (entre 27 y 25 °C). Los índices de concepción no se normalizaron hasta noviembre (Badinga et al., 1985).

La exposición de las células a temperaturas elevadas induce a numerosas anormalidades en la función celular, las cuales incluyen una inhibición general de la síntesis de proteínas, defectos en la estructura y función

de las proteínas, cambios morfológicas debido a reordenamientos en el citoesqueleto, cambios en el metabolismo, alteraciones en la dinámica y fluidez de la membrana celular y una disminución en la proliferación celular (Sonna et al., 2002).

5.4. Respuesta folicular

Exponer a vacas lecheras en producción a estrés calórico ha mostrado que causa un decremento en el crecimiento folicular y reduce las concentraciones de suero de estradiol 17- β (Wilson et al., 1998). Un decremento de concentraciones de estradiol está asociado con una falla en la luteólisis, de tal manera que vacas en estrés calórico tuvieron fases lúteas extendidas con múltiples oleadas foliculares dentro del ciclo estral (Badinga et al., 1993). El estrés calórico disminuyó el número de células de la granulosa viables, redujo la actividad de la aromatasa de la granulosa y suprimió la producción tecal de la androstenediona al día 7 de la primera oleada del folículo dominante (Wolfenson et al., 1997).

El estrés calórico reduce el crecimiento del folículo dominante (Badinga et al., 1993), además, causa una dominancia incompleta, debido a lo anterior se incrementa el crecimiento de los folículo subordinados (Wolfenson et al., 1995). El incremento en la temperatura corporal causada directamente por estrés calórico, tiene consecuencias adversas en la función celular. Debido a eso, una elevada temperatura reduce la proporción de embriones que pudieran continuar

en desarrollo (Ealy et al., 1995). La baja fertilidad asociada con folículos dominantes puede también representar, al menos en parte, efectos sobre el tracto reproductivo, vacas con folículos dominantes persistentes habían alterado los patrones de secreción de proteínas en el oviducto (Binelli et al., 1999).

5.5. Función ovárica

El estrés calórico retrasa el efecto en la función ovárica, esto caracterizado por alteraciones en las olas foliculares (Guzeloglu et al., 2001), esteriodogénesis folicular, dinámica folicular y alteraciones en las concentraciones de FSH e inhibina (Badinga et al., 1993; Wolfenson et al., 1997). La baja fertilidad del ganado lechero en el verano inducida por el estrés calórico es un problema multifactorial, debido a que el aumento de calor sobre varios órganos y tejidos da como resultado diversas alteraciones y deterioros funcionales (Wolfenson et al., 1988). El estrés calórico puede inhibir directamente la función del óvulo (Al-Katanani et al., 2002b).

Factores como el estrés calórico y dietas altas en proteína cruda pueden alterar la calidad del óvulo, afectando de esta manera su desarrollo directamente o comprometiendo la función de las células foliculares que soportan el desarrollo del óvulo (Hansen, 2002). Después de haberse completado o haber cesado el crecimiento, el folículo envía información a los ovocitos, que le permite adquirir una buena calidad (Sirard, 2001).

Las anomalías en la función lútea se han asociado con la muerte embrionaria, ya que el estrés calórico podría inhibir directamente la función del ovocito. A diferencia de otras células, el ovocito es transcripcionalmente inactivo hasta llegar a un tamaño aproximado de 110 μm , sin sufrir aumento de la proteína de shock térmico 70 (Hyttel et al., 1997). A temperaturas elevadas se presentan efectos nocivos sobre el crecimiento de los ovocitos, la síntesis de proteína y la formación de transcritos necesarios para el subsecuente desarrollo embrionario (Al-Katanani et al., 2002a). Así, se ha observado que las vacas con baja fertilidad tienen una función lútea anormal durante los primeros 7 días posteriores a la inseminación (Shelton et al., 1990). La exposición del ganado a temperaturas elevadas, durante la maduración del ovocito y la ovulación (Putney et al., 1989a) o, durante los primeros 3 a 7 días de gestación, provoca un descenso tanto en la viabilidad del embrión como en su desarrollo (Putney et al., 1988b), ya que se ha observado que las vacas sujetas a estrés calórico producen menos progesterona que las vacas que se encuentran en temperatura de confort (Rosenberg et al., 1997).

5.6. Mortalidad embrionaria

En ganado lechero, como en otras especies, exponer a las vacas a estrés calórico durante el periodo embrionario conduce a la pérdida del embrión (Putney et al., 1988a; Ealy et al., 1993). Varios estudios (Ealy and Hansen, 1994; Ambrose et al., 1999) han indicado que en el ganado bovino, el desarrollo embrionario es altamente sensible a altas temperaturas entre los primeros tres

a 11 días después del servicio; adquiriendo más tolerancia a temperaturas elevadas a medida que el periodo de gestación avanza.

Los embriones obtenidos mediante fecundación in vitro (FIV), son más susceptibles al estrés calórico que los obtenidos en condiciones naturales. Al respecto, Ambrose et al. (1999) indicaron que la mayor pérdida de embriones de bovinos obtenidos de FIV, ocurren antes de los 42 días, cuando las vacas están bajo estrés calórico. Para completar el desarrollo, el embrión debe progresar a través de una serie de etapas de desarrollo pre-programados que lo convierten, de un organismo unicelular no diferenciado, en un animal neonatal sano. Los obstáculos en la ejecución de dicho desarrollo pueden también provocar mortalidad embrionaria. La pérdida del embrión se incrementa cuando la regulación fisiológica del oviducto y función uterina es inadecuada, o cuando la madre es expuesta a uno o más tipos de estrés que comprometan la supervivencia del embrión (Hansen, 2002). El estrés calórico, al menos en ratones, puede causar anomalías en los óvulos, y es posible que factores tanto medioambientales como fisiológicos en la vaca pudieran interrumpir una cariocinesis normal (Baumgartner and Chrisman, 1981; 1988). Las vacas lecheras muestran una asociación negativa entre estrés calórico 10 días antes de la inseminación y el porcentaje de preñez (al-Katanani et al., 1999).

La exposición a estrés calórico de vacas superovuladas durante 10 horas desde el inicio del estro no tuvo efecto en el porcentaje de preñez, pero redujo la proporción de embriones normales recuperados al día 7 después del estro

(Putney et al., 1989a). Por otra parte, García-Inspuerto et al. (2006) reportaron una mortalidad embrionaria de 7.8% entre el día 40 y 90 de gestación en vacas Holstein, siendo el estrés calórico, medido vía el ITH, el factor más importante responsable de estas pérdidas embrionarias.

El estrés calórico hasta el día 7 post estro afecta el desarrollo embrionario en vacas superovuladas. Experimentos in vitro demuestran que la exposición de los embriones a temperaturas equivalentes a la temperatura rectal de las vacas bajo estrés térmico (41°C), disminuye la proporción de embriones que llegan a la etapa de blastocito (Hansen et al., 2001).

Estudios en novillas y vacas han indicado que la disminución en la calidad del ovocito en el periodo temprano posparto, está asociada con balance de energía negativo y las bajas condiciones corporales de los animales, lo cual se expresa en aumento de embriones subdesarrollados y anormales, teniendo como consecuencia pérdida de embriones en los meses más calurosos del año (Wolfenson et al., 1997).

En gran parte, la supervivencia del embrión depende del entorno materno; la pérdida embrionaria puede ocurrir cuando existe una alteración en la regulación fisiológica del oviducto y la función uterina, debido a errores en la fisiología materna o a algún estrés medioambiental específico impuesto sobre la madre (Hansen, 2002).

Una causa de muerte embrionaria es la interrupción del desarrollo embrionario causado cuando el embrión es expuesto a temperaturas elevadas, de esta manera la exposición del embrión al shock térmico bloquea o reduce el desarrollo del mismo (Edwards and Hansen, 1997; Rivera and Hansen, 2001). El estrés calórico conduce a la mortalidad embrionaria, al menos en parte, debido a que la síntesis de proteínas del útero se reduce (Edwards and Hansen, 1996; Edwards et al., 1997). Una de las características del estrés calórico sobre la supervivencia embrionaria, al menos en vacas, es que la magnitud de la disminución en la supervivencia embrionaria es menor cuando el estrés calórico es aplicado después de la preimplantación que cuando se aplica antes del desarrollo (Ealy et al., 1993).

La pérdida embrionaria asociada con estrés calórico es una de las mayores causas de la disminución en la fertilidad. Los embriones de los bovinos son altamente susceptibles al estrés calórico durante las etapas tempranas de su desarrollo, específicamente del día 0 al día 3 después del estro (Putney et al., 1989b; Ealy et al., 1993). Sin embargo, etapas después al día 3 son menos susceptibles a pérdidas inducidas por estrés (Ealy et al., 1993; Edwards and Hansen, 1997).

Vacas superovuladas expuestas a estrés calórico un día después de la inseminación, redujeron la proporción de embriones al día 8 de preñez, sin embargo, el estrés calórico no afectó la proporción de embriones clasificados como blastocitos al día 8, cuando el estrés calórico fue aplicado al día 3 (4 a 8

células), día 5 (16 células mórula) o al día 7 (mórula-etapa blastocito) después de la inseminación (Ealy et al., 1993). Además, coincide con diferentes autores en el sentido de que el estrés calórico en la madre durante etapas tempranas del desarrollo del embrión causa una disminución en la supervivencia embrionaria (Baumgartner and Chrisman, 1987; Ealy et al., 1993), y la exposición de los embriones a temperaturas elevadas reduce la viabilidad y posteriormente el desarrollo del embrión (Ulberg and Sheean, 1973; Ealy and Hansen, 1994). También, otros autores encontraron que en el ganado bovino, el estrés calórico durante el periodo de maduración del óvulo (Putney et al., 1988b) o desarrollo embrionario temprano (Putney et al., 1988a; Ealy et al., 1993) conduce a una reducción en la supervivencia embrionaria.

Es conveniente mencionar que el estrés por calor afecta a las vacas lecheras en producción de manera multifacética, mediante la reducción en la calidad del ovocito, un menor desarrollo embrionario y una modificación en la producción de progesterona (Hansen and Arechiga, 1999; Wolfenson et al., 2000; Roth et al., 2001). El efecto negativo de la elevación en la temperatura ambiental sobre la reproducción se complica con la mayor producción de calor metabólico asociada con el mayor consumo de alimento para respaldar la alta producción de leche. Además, la baja fertilidad en el otoño se ha atribuido a efectos retardados del estrés por calor en el verano (mediante un efecto de acarreo en la producción de ovocitos de mala calidad) (Roth et al., 2001).

Por otra parte, en ratas, los embriones que fueron formados a partir de fertilización de óvulos con espermatozoides que fueron expuestos a temperaturas elevadas redujeron su supervivencia (Burfening and Ulberg, 1968).

5.7. Termotolerancia

Durante el metabolismo de los nutrimentos en el ganado lechero se genera calor, el cual contribuye con el mantenimiento de la temperatura corporal, condición favorable en climas fríos. Sin embargo, en climas cálidos el calor se debe eliminar para mantener la temperatura corporal dentro de los rangos normales. La capacidad de termorregulación de la vaca lechera puede ser insuficiente, lo que ocasiona un incremento de la temperatura corporal. En vacas sujetas a estrés calórico es común que la temperatura alcance valores entre 39.5 a 41°C, lo cual afecta, en primer lugar, la función celular (Hansen et al., 2001).

Una molécula que juega un rol importante en la resistencia celular al estrés calórico es HSP70 (heat shock protein 70), la cual actúa para proteger células expuestas a temperaturas elevadas mediante la estabilización de la estructura proteica (Georgopoulos and Welch, 1993), inhibiendo la "traducción" y previniendo la apoptosis (Li et al., 1996; Thulasiraman et al., 1998). Las diferentes HSPs eran identificadas originalmente como proteínas cuya expresión era incrementada notoriamente debido al estrés calórico (Lindquist,

1986). La HSP70 es importante para el desarrollo de las células en ausencia de shock térmico; proveer de anticuerpos HSP70 en un medio de cultivo disminuyó el desarrollo en ausencia de estrés en ratones y en el ganado (Neuer et al., 1998; Al-Katanani and Hansen, 2002). Varias HSPs se expresan incluso en células que no presentan estrés calórico y desempeñan importantes funciones en la fisiología normal de la célula (Lindquist, 1986).

Los embriones de bovinos desarrollan la habilidad de producir HSP70 en respuesta al shock calórico tan pronto se encuentren en la etapa de dos células (Edwards and Hansen, 1996; Edwards et al., 1997), eso es, antes de ganar resistencia al estrés calórico (Chandolia et al., 1999). Un experimento en embriones de ratón indicó que el estrés calórico causó una reducción en la concentración intracelular de glutatión, un antioxidante tripéptido que participa en una variedad de reacciones para eliminar los radicales libres de las células (Arechiga et al., 1995).

La resistencia embrionaria al estrés calórico se asocia temporalmente con la habilidad de someter la apoptosis en respuesta al estrés calórico, lo cual sugiere que la apoptosis puede tener un rol en dicha resistencia a temperaturas elevadas. Células expuestas al estrés que no pueden someterse a la apoptosis frecuentemente experimentan muerte celular y la subsecuente necrosis (Xiang et al., 1996; Woo et al., 1998). La intensidad y duración del estímulo de calor necesario para inducir la expresión de HSP varían considerablemente de un tejido a otro (Lindquist, 1986).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización

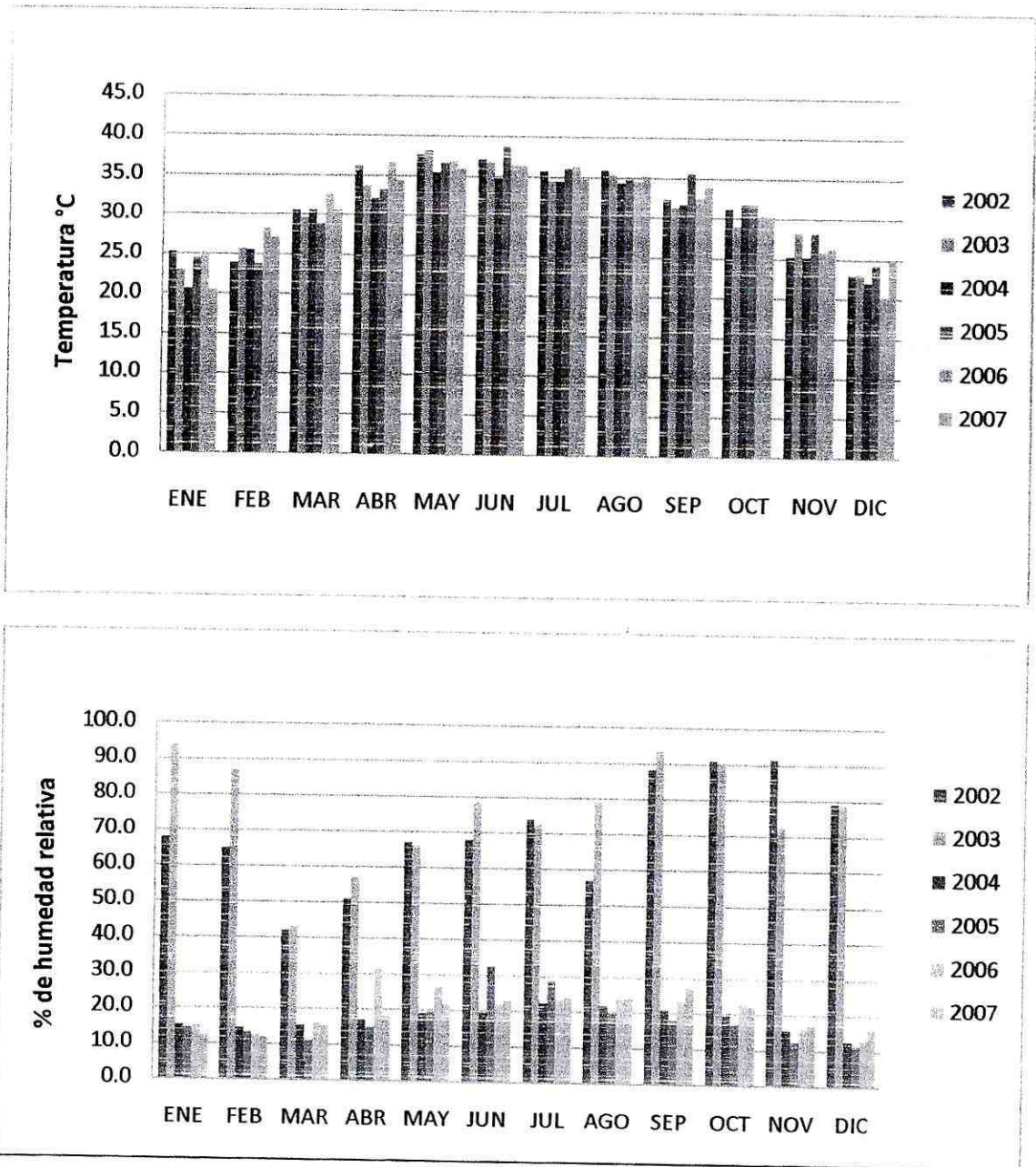
El presente estudio se llevó a cabo en el establo Beta Santa Mónica, el cual está situado en el municipio de San Pedro, Coahuila. Se localiza en la carretera Torreón - San Pedro, km. 42. Se encuentra a 1111 msnm, y se ubica en las coordenadas 25°44'36"N y 103°10'15"O. Las condiciones climáticas del lugar se presentan en la Fig. 1. Las condiciones climáticas de la zona de estudio son clasificadas como las del desierto de Chihuahuense, las cuales son condiciones cálidas extremas con temperaturas máximas de mayo a septiembre de hasta 42.8°C y promedios de 36.4°C, mientras que las temperaturas mínimas que se registran en diciembre y enero son de hasta 2°C con un promedio de 9°C. La zona tiene una precipitación pluvial promedio anual de 253 mm (CONAGUA, 2008).

6.2. Animales y su manejo

Se utilizaron 18,037 registros de inseminaciones de vacas Holstein primíparas y multíparas de un alto potencial lechero. Las vacas se manejaban en forma intensiva, ofreciéndoles heno de alfalfa y concentrado 3 veces por día, de acuerdo a sus requerimientos nutricionales en sus diferentes etapas fisiológicas. Las vacas fueron inyectadas subcutáneamente con somatotropina cada 14 días a través de toda la lactancia, iniciando el tratamiento a los 60 días

postparto. Las vacas eran detectadas en celo visualmente dos veces por día (08:00 y 17:00) y aquellas detectadas en celo después de 50 días de lactancia eran inseminadas artificialmente o con monta natural, utilizando toros mantenidos en el mismo establo. Para las inseminaciones se utilizó la regla de la deposición del semen aproximadamente 12 horas después de la detección del celo. La preñez era detectada a los 45 días postinseminación, vía palpación del contenido del útero en forma intrarectal.

Figura 1. Temperatura máxima promedio mensual y humedad relativa del área de estudio durante un periodo de 6 años.



Los promedios de ITH registrados durante el periodo de estudio se encuentran dentro de la categoría de estrés térmico (Wiersma, 1990).

6.3. Manejo sanitario

Las vacas fueron vacunadas contra: rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR), diarrea viral bovina (DVB), virus respiratorio sincitial bovino (VRSB), influenza 3 (PI3), contra siete cepas de clostridios, leptospira en 5 variedades (canicola, grippotyphosa, hardjo, iceterohemorrhagie y Pomona).

Las diferentes enfermedades que se presentan en el establo comúnmente son:

Mastitis.- Se detecta mediante pruebas de california y se clasifican en clínica y subclínica. El tratamiento varía de acuerdo a cada caso y por lo general consta de penicilina modificada, yohidrato de penetamato por vía parenteral e intramamaria, sulfa con trimetropim, tubos intramamarios como mastijet, espiramicina neomicina, entre otros.

Cojera.- Se clasifica como infecciosa o no infecciosa y se diagnostica al observar las lesiones de patas, se tratan con gasas impregnadas con yodo + oxitetraciclina + Lincomicina-Espectinomicina en polvo y el uso de vendas además de cefalosporinas.

Metritis puerperal.- Se diagnostica cuando las vacas presentan endometrio duro e inflamado al tacto, además de presentar descargas acuosas fétidas y de color rojo-café por la vulva. El tratamiento consiste en oxitetraciclina de larga duración además de prostaglandinas (Celosil).

Retención placentaria.- Se administran diferentes antibióticos como: oxitetraciclina de larga acción, ciprofloxacina, penicilina, estreptomina de larga acción, además de un cotractor uterino, prostaglandinas ó estrógenos. Además se administraba calcio vía intravenosa + Propilen Glicol.

Cetosis.- Se diagnostica con tiras de papel detectoras de cuerpos cetónicos. Las vacas con cetosis eran tratadas con Propilen Glicol vía oral (300 a 500 ml/cada tercer día).

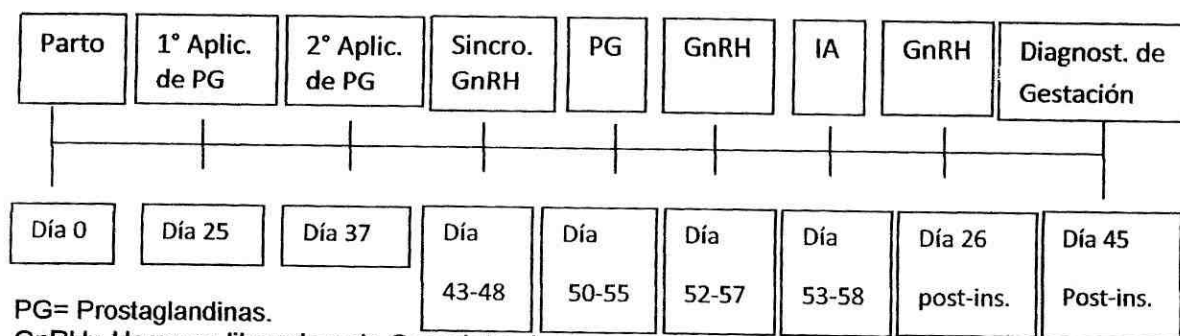
Diarreas por acidosis.- El tratamiento consiste en administrar (Biorumen) un compuesto de bicarbonato de sodio + levaduras (microflora ruminal).

6.4. Programa reproductivo

El programa de reproducción para llevar a cabo la inseminación artificial iniciaba a los 25 días del parto, aplicando una dosis de prostaglandinas, con la finalidad de mejorar la involución uterina en vacas que habían presentado problemas postparto. Al día 37 del parto se aplicaba una segunda dosis de prostaglandinas, además de hacer una revisión del útero para verificar que no existieran problemas como adherencias, piometras, quistes ováricos, etc. De los días 43 al 48 se aplicaba una dosis (100 microgramos) de GnRH más un implante prostageno subcutáneo (Crestar) en la base de la oreja. Los días 50-55 se aplican prostaglandinas (Celosil), y se retira el implante de Crestar. Del día 52 al 57 postparto se repetía la misma dosis de GnRH (fertagyl), y un día

después, es decir de los días 53 al 58, comenzaba la inseminación artificial. 26 días después de haber realizado la inseminación artificial se aplica una dosis de GnRH para realizar una pre-sincronización de las vacas que no habían resultado gestantes al tiempo del diagnóstico de gestación. El diagnóstico de gestación se realizaba 45 días después de la inseminación artificial. Dicho proceso se muestra en el esquema 1.

Esquema 1. Proceso mediante el cual se llevo a cabo la IA.



PG= Prostaglandinas.

GnRH= Hormona liberadora de Gonadotropina.

IA= Inseminación Artificial.

6.5. Producción de leche

Las vacas tuvieron un promedio de producción de leche por día de 33.6 litros, y un consumo promedio de materia seca de 22.4 kg.

7. DISEÑO EXPERIMENTAL

7.1. Índice de Temperatura-Humedad (ITH)

El índice de temperatura-humedad (ITH) utilizado en el presente estudio fue:

$$\text{ITH} = (0.8 \times \text{Temperatura} + (\text{Humedad relativa}/100) \times (\text{Temperatura}-14.4)+46).$$

Donde T es la temperatura máxima (°C) y H es el valor de la humedad relativa más alto en un día dado.

La carga calórica ambiental se describió con este índice porque la termorregulación en los bovinos se ve afectada tanto por la temperatura como por la humedad (Armstrong, 1994). El ITH usado en el presente estudio es un esquema unidimensional, esto es, la situación térmica en un punto del tiempo (solamente intensidad), con lo que no se toma en cuenta la longitud del periodo de las condiciones térmicas adversas. Dado que en esta zona las noches suelen ser muy calurosas durante la primavera y verano (rango para temperaturas mínimas de abril a Octubre de 8.5 a 25.4°C) se consideró que la subestimación de la carga calórica fue mínima.

7.2. Variables evaluadas

Las siguientes variables se calcularon: intervalo entre parto y primer servicio postparto, intervalo entre el primer servicio y la preñez, basado en el diagnóstico de gestación, tasa de preñez (porcentaje de servicios que resultaron en preñez confirmada) y número de inseminaciones por preñez.

7.3. Análisis estadísticos

La proporción de vacas gestantes se evaluó con medias de cuadrados mínimos con el procedimiento GLM de SAS, incluyéndose en el modelo, como variables dependientes, el mes de inseminación y los ITH antes, durante y después de la inseminación de las vacas. La comparación de las variables reproductivas entre meses se llevó a cabo con la prueba de Tuckey con el programa SAS. Los servicios por preñez se evaluaron con la prueba bivariada de Wilcoxon rank sum (proc npar1way; SAS). También se llevaron a cabo regresiones no lineales para determinar la asociación entre tasas de preñez e ITH al momento de la inseminación, y tasas de preñez y meses de inseminación. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + A_i + D_j + e_{ijk}$$

u = Media general

A_i = Categorías del índice temperatura humedad durante la inseminación.

D_j = Desviaciones del ITH antes y después de la inseminación artificial.

e_{ijk} = Efecto residual.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia reproductiva del hato estudiado fue muy pobre, pues la tasa general de preñez fue de sólo 33%. Valores de tasas de preñez cercanos a los encontrados en este estudio han sido reportados por otros autores con vacas lecheras en lugares con intenso calor (Ingraham et al., 1974; Cavestany et al., 1985). En la tabla 1 se muestran las tasa de preñez de las vacas en función de condiciones climáticas antes o después de la inseminación.

Tabla 1. Tasa de preñez (%) cuando el ITH antes o después de la IA era menor o mayor que en el día de la IA.

ITH al día de IA (D ₀)	D ₋₁		D ₋₃		D ₊₁		D ₊₃	
	N	%	N	%	n	%	n	%
85-90								
ITH menor que el D ₀	968	36 ^a	972	36 ^a	1043	35 ^a	1026	36 ^a
ITH mayor que el D ₀	861	29 ^b	1389	30 ^b	913	32 ^a	1364	31 ^b
80-85								
ITH menor que el D ₀	2428	36 ^a	942	37 ^a	1108	37 ^a	1108	38 ^a
ITH mayor que el D ₀	342	32 ^a	1328	34 ^b	992	33 ^b	1051	34 ^b
75-80								
ITH menor que el D ₀	688	39 ^a	949	34 ^a	1059	39 ^a	603	37 ^a
ITH mayor que el D ₀	859	36 ^a	513	35 ^a	598	34 ^b	557	37 ^a

^{a,b} Medias dentro de columnas con diferente superíndice difieren ($p < 0.05$).

^{a,b} Medias dentro de columnas con diferente superíndice tienden a diferir ($p = 0.07-0.08$).

Las vacas que fueron inseminadas en los días cuyo rango del ITH fue de 75-80, los ITH superiores a los ocurridos uno o tres días antes de la

inseminación deprimieron ($P < 0.05$) la tasa de preñez en 6-7 puntos porcentuales, comparado con las tasa de preñez observadas con ITH más bajos uno o tres días antes de la inseminación. La tasa de preñez también se redujo 5 puntos porcentuales en aquellas vacas expuestas a índices $>85-90$ ($P < 0.05$) tres días posteriores a la inseminación artificial.

En un rango entre 80 y 85 unidades para ITH, los índices más altos antes y después de la inseminación a los observados el día de la inseminación, nuevamente repercutieron negativamente ($P = 0.2-0.8$) sobre las tasas de preñez de las vacas. Al considerar condiciones climáticas no extremas (ITH=75-80) al momento de la inseminación, los índices >80 antes de la inseminación no repercutieron negativamente en las tasas de preñez. Sin embargo, cuando el ITH fue >80 un día después de la inseminación, la tasa preñez se redujo en 5 puntos porcentuales ($P < 0.05$).

Es común que las vacas lecheras en sistemas de producción intensivos, y en zonas de intenso calor, como La Comarca Lagunera, alcancen temperaturas rectales de 40 a 41°C. Esto se debe a que las vacas generan excesivo calor metabólico a causa de la alta producción de leche y por el elevado consumo de materia seca, además de que sus mecanismos de disipación del calor son ineficaces. Lo anterior provoca fallas en la maduración del ovocito y el desarrollo del embrión.

La exposición in vitro de un ovocito a 41°C durante seis horas altera su maduración y la misma exposición en los primeros cuatro días de desarrollo provoca daño en los embriones, lo que resulta en una proporción menor de embriones que alcancen la etapa de blastocisto (Hansen et al., 2001). In vivo, la exposición de las vacas donadoras de embriones a una temperatura ambiental mayor a los 38°C afecta negativamente el desarrollo embrionario (Putney et al., 1989a). Por otra parte, una consecuencia del estrés calórico no percibida en ocasiones, es el efecto residual o de largo plazo en los ovocitos, que se manifiesta después de los meses cálidos; de tal modo que, los ovocitos de las vacas que fueron expuestas a estrés calórico en agosto y son ovulados en octubre, tendrán por tanto menor potencial para desarrollar un embrión viable (Roth et al., 2001).

Otra explicación para el efecto negativo de los ITH elevados encontrados en el presente estudio después de la inseminación, es que el estrés calórico puede afectar el mecanismo de reconocimiento materno de la gestación. Las altas temperaturas comprometen la habilidad de los embriones para producir cantidades suficientes de interferón- τ (IFN- τ) u otros productos celulares, necesarios para el reconocimiento materno de la gestación (Putney et al., 1988a).

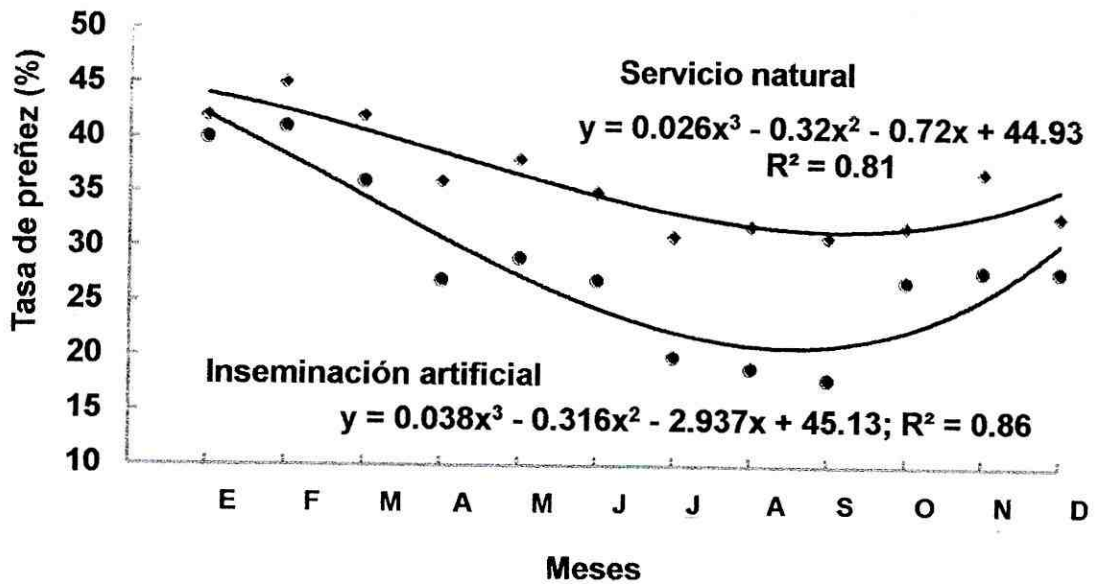


Figura 2. Porcentajes de concepciones a través del año en vacas inseminadas con semen artificial o semen fresco (monta natural).

En la Fig. 2 se observa una disminución de la tasa de concepciones cuando se usó la inseminación artificial, comparada con la monta natural, aunque esta declinación se presentó más marcadamente durante los meses más calientes del año. La tasa de preñez con monta natural fue de 36% comparada con 28% observada con la inseminación artificial. El debate entre servicio natural e inseminación artificial es controversial. Sin embargo, existen evidencias de que la monta natural no rebasan los resultados de la inseminación artificial (ABS Global 2002); (Fricke and Niles, 2003; Smith et al., 2004). Smith et al. (2004) observó una tasa de preñez promedio a 21 días (montas naturales) del 13% en 17 hatos con 14,300 vacas, en comparación con un 14% con inseminación artificial en 43 hatos que incluían 20,686 vacas.

En contraste, se evaluaron retrospectivamente los registros de la Asociación y Mejoramiento del Hato Lechero (DHIA) (de 1995 a 2002) de las vacas Holstein de Florida y Georgia, EE.UU. Durante el invierno, la tasa general de preñez no fue diferente (~18%) entre los hatos con inseminación artificial o con monta natural. No obstante, durante el verano, la tasa general de preñez de los hatos con inseminación artificial (8.1%) fue 1.7% inferior a la de los hatos con monta natural (9.8%) (de Vries and Risco, 2005). Estos autores atribuyen el menor éxito de la inseminación artificial durante el verano a que predominaban las vacas durante las primeras etapas de la lactancia (entre 71 y 112 días en leche), cuando probablemente estaban presentando estros más cortos y de menor intensidad (debido al estrés por calor y a la alta producción), tal vez produciendo una mayor dificultad en la identificación de estas vacas en celo.

Los datos del presente estudio no dejan duda de que, bajo el intenso calor de La Laguna, las tasas de preñez se mejoran con la inseminación con semen fresco (monta natural). Se presume que el efecto benéfico del semen fresco está relacionado con el efecto del fluido seminal sobre el útero. El fluido seminal contiene potentes agentes que influyen la fisiología del aparato reproductivo de la hembra con lo que se mejora las posibilidades de concepción y el éxito de la preñez. Además, las citocinas y prostaglandinas presentes en el fluido seminal modifican la estructura y función del tejido del útero, además de incrementar la sobrevivencia de los espermatozoides en el canal reproductivo de las hembras (Robertson, 2007).

Otros autores, sin embargo, indican que el impacto del estrés por calor en los establos en los se utiliza la monta natural puede ser devastadora que los efectos adversos sobre la fertilidad de las vacas se combinen con la menor fertilidad del toro, dando como resultado tasas de preñez inaceptablemente bajas (Badinga et al., 1985). Se examinaron los registros computarizados de tres granjas lecheras de California después de un verano particularmente caluroso, encontrando que la fertilidad cayó tanto en las vacas sometidas a inseminación artificial como en las que se inseminaron con toro (Niles and Risco, 2002). Estos autores consideran que la baja en la fertilidad de los toros dedicados al servicio natural después del estrés térmico, probablemente se deba a una combinación de factores como la disminución de la motilidad espermática y el aumento en las anomalías de los espermatozoides (Vogler et al., 1991; Vogler et al., 1993), así como la disminución del desarrollo embrionario (Walters et al., 2004).

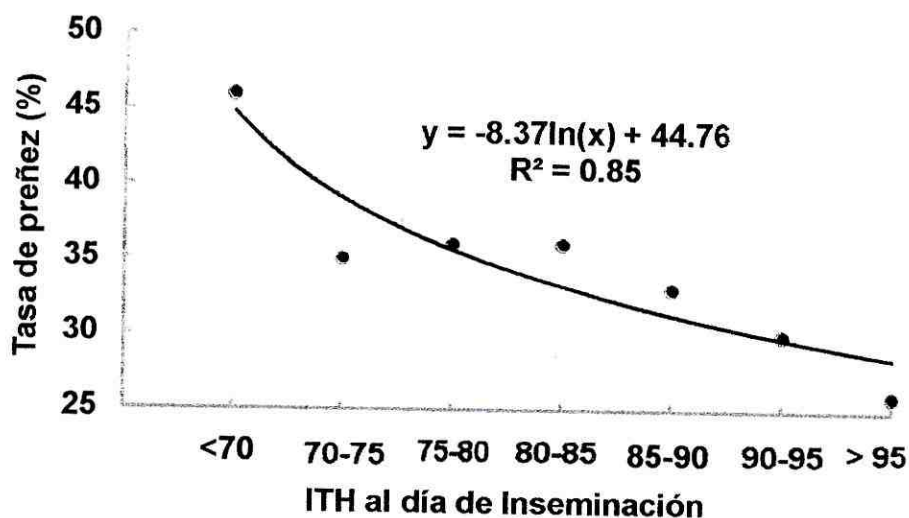


Figura 3. Relación entre el índice de temperatura humedad el día de la inseminación con la tasa de preñez de vacas Holstein en el noreste de México.

En la Fig. 3 se muestra la tasa de preñez de las vacas con respecto al ITH al momento de la inseminación artificial. Se observó una clara tendencia cuadrática ($P < 0.01$), desplomándose abruptamente la tasa de preñez de las vacas con ITH > 70 . Con ITH alrededor de 95 unidades las tasas de preñez fueron apenas 25%, una tasa no tan baja como la reportada por otros autores en ambientes semitropicales (Ingraham et al., 1974; Cavestany et al., 1985; Arechiga, 2000). Los autores antes indicados han observado que en climas semitropicales de los Estados Unidos de América, las vacas Holstein presentan porcentajes de concepción de alrededor de 40% en los meses menos calurosos, pero las tasas de preñez se reducen hasta un 10-15% durante el verano. En el presente estudio la combinación de la temperatura-humedad explicó el 85% de la variabilidad en la tasa de concepción, lo cual concuerda

cercanamente con lo reportado con Cavestany et al. (1985) y Du Preez et al. (1991).

En la tabla 2 se presenta el desempeño reproductivo de las vacas en función del mes de parto. Varios investigadores (Ingraham et al., 1974; Stott and Wiersma, 1976; Cavestany et al., 1985; Garcia-Ispierto et al., 2007) reportan que la eficiencia reproductiva es mayor durante el verano que otros meses del año. Un efecto similar fue observado en el presente estudio, ya que la tasa de preñez fue considerablemente inferior en los meses de mayor temperatura ambiental (abril a octubre). Por otro lado, en invierno se presentaron las tasas de preñez más altas ($P < 0.01$), lo que muestra claramente que en los meses de invierno en la Comarca Lagunera se tiene el mejor desempeño reproductivo de las vacas lecheras. La respuesta anterior se debe fundamentalmente al estrés térmico que se presenta la mayor parte del año en esta zona, lo cual puede resultar en un patrón irregular de secreción de estradiol o temperatura uterina elevada que puede causar mortalidad embrionaria temprana (Ealy and Hansen, 1994), entre otras cosas.

Tabla 2. Variables reproductivas de vacas Holstein en el noreste de México, en función del mes de parto.

Mes	N*	Tasa de Preñez	Intervalo parto 1° inseminación	Intervalo parto preñez	Servicios por concepción
Enero	484	0.41 ^a	68 ± 36 ^a	122 ± 85 ^{bc}	2.6 ± 2.0 ^{de}
Febrero	485	0.43 ^a	66 ± 23 ^{abc}	115 ± 76 ^c	2.6 ± 1.9 ^{de}
Marzo	469	0.39 ^a	66 ± 29 ^{ab}	124 ± 86 ^{abc}	2.8 ± 2.3 ^{dc}
Abril	426	0.32 ^{bc}	67 ± 36 ^{ab}	135 ± 93 ^a	3.1 ± 2.4 ^{ab}
Mayo	463	0.34 ^b	65 ± 30 ^{abc}	136 ± 86 ^a	3.4 ± 2.5 ^a
Junio	470	0.31 ^{bcd}	63 ± 33 ^{abcd}	123 ± 79 ^{abc}	3.0 ± 2.2 ^{bc}
Julio	528	0.27 ^d	63 ± 34 ^{abcd}	127 ± 73 ^{ab}	3.2 ± 2.1 ^{ab}
Agosto	603	0.28 ^d	61 ± 38 ^{dc}	115 ± 66 ^c	3.0 ± 1.9 ^{bc}
Septiembre	797	0.28 ^{cd}	58 ± 31 ^d	104 ± 59 ^d	2.8 ± 1.8 ^{dc}
Octubre	881	0.31 ^{bcd}	60 ± 36 ^{dc}	98 ± 58 ^d	2.4 ± 1.5 ^{ef}
Noviembre	661	0.35 ^b	62 ± 29 ^{bcd}	95 ± 59 ^d	2.1 ± 1.4 ^f
Diciembre	449	0.31 ^{bcd}	66 ± 42 ^{ab}	103 ± 70 ^d	2.3 ± 1.6 ^f

^{abcd} Dentro de columnas, medias seguidas con diferente superíndice difieren (P<0.01).

*n total para tasa de preñez=18,037.

El intervalo entre el parto y la primera inseminación fue más corto (P<0.01) en septiembre comparado (P<0.01) con los meses más fríos del año (tabla 2). Esta respuesta puede deberse a que el mes de septiembre normalmente es el mes de mayor precipitación en esta región, lo cual puede mejorar la disipación del calor de las vacas.

El intervalo entre el parto y la concepción fue más corto (P<0.01) en los meses de otoño e invierno comparados con los meses de primavera y verano. Lo anterior muestra que gran parte de los servicios durante los meses más calurosos del año no resultaron en preñeces, lo que alargó el tiempo para que las vacas quedaran preñadas.

Finalmente, el número de servicios por concepción fue mayor en los meses más calurosos del año (primavera) comparados con los servicios por concepción observados en otoño y primavera. Los servicios por concepción encontrados en el presente estudio son inferiores a los reportados por otros investigadores en explotaciones de leche en climas subtropicales (Cavestany et al., 1985).

9. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio (altas temperaturas y baja humedad durante la mitad del año) ITH arriba de 70 unidades deprimió la tasa de preñez drásticamente en vacas Holstein sometidas a tres ordeñas y tratadas con somatotropina durante la lactancia.

Tanto los ITH más elevados pocos días antes o después de la inseminación, repercutieron negativamente sobre las tasas de preñez de las vacas Holstein.

La eficiencia reproductiva de las vacas Holstein en la Comarca Lagunera disminuye marcadamente durante los meses de primavera y verano, observándose el mejor desempeño reproductivo en invierno.

Los resultados de este estudio muestran evidencia de que se alcanzan tasas de concepción más altas con monta natural, en comparación con la inseminación artificial, particularmente durante las épocas más calientes del año.

10. LITERATURA CITADA

- ABS Global. 2002. Pregnancies: A profitability driver on a dairy. In: Breeder's Journal. 16:2 -
- Al-Katanani, Y.M., Drost, M., Monson, R.L., Rutledge, J.J., Krininger, C.E., 3rd, Block, J., Thatcher, W.W., Hanse, P.J., 2002a. Pregnancy rates following timed embryo transfer with fresh or vitrified in vitro produced embryos in lactating dairy cows under heat stress conditions. Theriogenology 58, 171-182.
- Al-Katanani, Y.M., Hansen, P.J., 2002. Induced thermotolerance in bovine two-cell embryos and the role of heat shock protein 70 in embryonic development. Mol Reprod Dev 62, 174-180.
- Al-Katanani, Y.M., Paula-Lopes, F.F., Hansen, P.J., 2002b. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. J Dairy Sci 85, 390-396.
- al-Katanani, Y.M., Webb, D.W., Hansen, P.J., 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-day nonreturn rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. J Dairy Sci 82, 2611-2616.
- Ambrose, J.D., Drost, M., Monson, R.L., Rutledge, J.J., Leibfried-Rutledge, M.L., Thatcher, M.J., Kassa, T., Binelli, M., Hansen, P.J., Chenoweth, P.J., Thatcher, W.W., 1999. Efficacy of timed embryo transfer with fresh and frozen in vitro produced embryos to increase pregnancy rates in heat-stressed dairy cattle. J Dairy Sci 82, 2369-2376.
- Amundson, J.L., Mader, T.L., Rasby, R.J., Hu, Q.S., 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. J Anim Sci 84, 3415-3420.

- Arechiga, C.F., 2000. Efectos adversos del estrés en la reproducción del ganado bovino. *Mejoramiento Animal: Reproducción*. UNAM, Facultad de Medicina Veterinaria y Zotecnia, 135-150.
- Arechiga, C.F., Ealy, A.D., Hansen, P.J., 1995. Evidence that glutathione is involved in thermotolerance of preimplantation murine embryos. *Biol Reprod* 52, 1296-1301.
- Armstrong, D.V., 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci* 77, 2044-2050.
- Badinga, L., Collier, R.J., Thatcher, W.W., Wilcox, C.J., 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *J Dairy Sci* 68, 78-85.
- Badinga, L., Thatcher, W.W., Diaz, T., Drost, M., Wolfenson, D., 1993. Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology* 39, 797-810.
- Baumgartner, A.P., Chrisman, C.L., 1981. Cytogenetic analysis of ovulated mouse oocytes following hyperthermic stress during meiotic maturation. *Exp Cell Res* 132, 359-366.
- Baumgartner, A.P., Chrisman, C.L., 1987. Embryonic mortality caused by maternal heat stress during mouse oocyte maturation. *Anim Reprod Sci* 14, 309-316.
- Baumgartner, A.P., Chrisman, C.L., 1988. Analysis of post-implantation mouse embryos after maternal heat stress during meiotic maturation. *J Reprod Fertil* 84, 469-474.

- Biggers, B.G., Geisert, R.D., Wetteman, R.P., Buchanan, D.S., 1987. Effect of heat stress on early embryonic development in the beef cow. *J Anim Sci* 64, 1512-1518.
- Binelli, M., Hampton, J., Buhi, W.C., Thatcher, W.W., 1999. Persistent dominant follicle alters pattern of oviductal secretory proteins from cows at estrus. *Biol Reprod* 61, 127-134.
- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J.B., 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 90, 1947-1956.
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Animal production* 24, 711-714
- Burfening, P.J., Ulberg, L.C., 1968. Embryonic survival subsequent to culture of rabbit spermatozoa at 38 degrees and 40 degrees C. *J Reprod Fertil* 15, 87-92.
- Cavestany, D., el-Wishy, A.B., Foote, R.H., 1985. Effect of season and high environmental temperature on fertility of Holstein cattle. *J Dairy Sci* 68, 1471-1478.
- Collier, R.J., Baumgard, L.H., Lock, A.L., Bauman, D.E., 2004. Physiological limitations, nutrient partitioning in *Yields of Farmed Species: Constraints and Opportunities in the 21st Century*. Nottingham Univ. Press.
- Collier, R.J., Stiening, C.M., Pollard, B.C., VanBaale, M.J., Baumgard, L.H., Gentry, P.C., 2006. Use of gene expression microarrays for evaluating environmental stress tolerance at the cellular level in cattle. *J Anim Sci* 84, E1-E13.

- CONAGUA, 2008. Comisión Nacional del Agua.
- Córdova-Izquierdo, A., Xolalpa-Campos, V.M., Córdova-Jiménez, M.S., Córdova-Jiménez, C.A., Guerra-Liera, J.E., 2007. Factors That Predispose To Causing Diseases Of Abortions In Dairy Cows. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7-20.
- Correa-Calderón, A., G. des Santos, L. Avendaño, F. Rivera, D. Alvarez, F. Ardon, R. Diaz, Collier, R., 2009. Cooling and conception rate in holstein heifers with heat stress. *Arch. Zootec.* 58, 231-239.
- Correa-Calderón, A., L. Avendaño-Reyes, A. Rubio-Villanueva, D. V. Armstrong, J. F. Smith, DeNise, S.K., 2002. Effect of a cooling system on productivity of holstein cows under heat stress. *Agrociencia* 36, 531-539.
- Coubrough, R.I., 1985. Stress and fertility. A review. *Onderstepoort J Vet Res* 52, 153-156.
- Cruz, J.E., Elizondo, C.A., Vazquez, U., R., Fernandez, I.G., 2009. Efecto de la GnRH postinseminación sobre la concentración de progesterona y las tasas de concepción en vacas repetidoras Holstein en condiciones de estrés calórico. *Técnica Pecuaria México* 47, 107-115.
- Chandolia, R.K., Peltier, M.R., Tian, W., Hansen, P.J., 1999. Transcriptional control of development, protein synthesis, and heat-induced heat shock protein 70 synthesis in 2-cell bovine embryos. *Biol Reprod* 61, 1644-1648.
- de Vries, A., Risco, C.A., 2005. Trends and seasonality of reproductive performance in Florida and Georgia dairy herds from 1976 to 2002. *J Dairy Sci* 88, 3155-3165.

- du Preez, J.H., Terblanche, S.J., Giesecke, W.H., Maree, C., Welding, M.C., 1991. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under South African conditions. *Theriogenology* 35, 1039-1049.
- Ealy, A.D., Drost, M., Hansen, P.J., 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J Dairy Sci* 76, 2899-2905.
- Ealy, A.D., Hansen, P.J., 1994. Induced thermotolerance during early development of murine and bovine embryos. *J Cell Physiol* 160, 463-468.
- Ealy, A.D., Howell, J.L., Monterroso, V.H., Arechiga, C.F., Hansen, P.J., 1995. Developmental changes in sensitivity of bovine embryos to heat shock and use of antioxidants as thermoprotectants. *J Anim Sci* 73, 1401-1407.
- Edwards, J.L., Ealy, A.D., Monterroso, V.H., Hansen, P.J., 1997. Ontogeny of temperature-regulated heat shock protein 70 synthesis in preimplantation bovine embryos. *Mol Reprod Dev* 48, 25-33.
- Edwards, J.L., Hansen, P.J., 1996. Elevated temperature increases heat shock protein 70 synthesis in bovine two-cell embryos and compromises function of maturing oocytes. *Biol Reprod* 55, 341-346.
- Edwards, J.L., Hansen, P.J., 1997. Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol Reprod Dev* 46, 138-145.
- Eigenberg, R.A., Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., 2007. Development of a livestock weather safety monitor for feddlot cattle. *Applied Engineering in Agriculture* 23, 657-660.
- Fricke, P., Niles, D., 2003. Don't fall for the bulls-are-cheaper, more fertile myth. *Hoard's Dairyman*, 8-9.

- Fuquay, J.W., 1981. Heat stress as it affects animal production. *J Anim Sci* 52, 164-174.
- Garcia-Ispuerto, I., Lopez-Gatius, F., Santolaria, P., Yaniz, J.L., Nogareda, C., Lopez-Bejar, M., 2007. Factors affecting the fertility of high producing dairy herds in northeastern Spain. *Theriogenology* 67, 632-638.
- Garcia-Ispuerto, I., Lopez-Gatius, F., Santolaria, P., Yaniz, J.L., Nogareda, C., Lopez-Bejar, M., De Rensis, F., 2006. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology* 65, 799-807.
- Gaughan, J.B., Mader, T.L., Holt, S.M., Lisle, A., 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J Anim Sci* 86, 226-234.
- Georgopoulos, C., Welch, W.J., 1993. Role of the major heat shock proteins as molecular chaperones. *Annu Rev Cell Biol* 9, 601-634.
- 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.
- Gwazdauskas, F.C., 1985. Effects of climate on reproduction in cattle. *J Dairy Sci* 68, 1568-1578.
- Gwazdauskas, F.C., Thatcher, W.W., Wilcox, C.J., 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *J Dairy Sci* 56, 873-877.
- Hansen, P.J., 2002. Embryonic mortality in cattle from the embryo's perspective. *J Anim Sci* 80, E33-E44.

- Hansen, P.J., 2007. Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology* 68 Suppl 1, S242-249.
- Hansen, P.J., Arechiga, C.F., 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J Anim Sci* 77 Suppl 2, 36-50.
- Hansen, P.J., Drost, M., Rivera, R.M., Paula-Lopes, F.F., al-Katanani, Y.M., Krininger, C.E., 3rd, Chase, C.C., Jr., 2001. Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 55, 91-103.
- Horowitz, M., 2001. Heat acclimation: Phenotypic plasticity and cues to the underlying molecular mechanisms. *J. Therm. Biol.* 26, 357-363.
- Hyttel, P., Fair, T., Callesen, H., Greve, T., 1997. Oocyte growth, capacitation and final maturation in cattle. *Theriogenology* 47, 23-32.
- Igono, M.O., Bjotvedt, G., Sanford-Crane, H.T., 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int J Biometeorol* 36, 77-87.
- Ingraham, R.H., Gillette, D.D., Wagner, W.D., 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *J Dairy Sci* 57, 476-481.
- Jordan, E.R., 2003. Effects of Heat Stress on Reproduction. *J Dairy Sci* 86, E104-E114.
- Li, W.X., Chen, C.H., Ling, C.C., Li, G.C., 1996. Apoptosis in heat-induced cell killing: the protective role of hsp-70 and the sensitization effect of the c-myc gene. *Radiat Res* 145, 324-330.

- Lindquist, S., 1986. The heat-shock response. *Annu Rev Biochem* 55, 1151-1191.
- Lozano Domínguez, R.R., Vázquez Peláez, C.G., González Padilla, 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. *Veterinaria México* 36, 245-260.
- Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T., 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim Sci* 84, 712-719.
- Mader, T.L., Kreikemeier, W.M., 2006. Effects of growth-promoting agents and season on blood metabolites and body temperature in heifers. *J Anim Sci* 84, 1030-1037.
- Mellado, M., 1995. Respuesta fisiológica, producción de leche, eficiencia productiva y salud del ganado lechero expuesto a temperaturas ambientales elevadas. *VETERINARIA MEXICO* 26, 389-399.
- Neuer, A., Mele, C., Liu, H.C., Rosenwaks, Z., Witkin, S.S., 1998. Monoclonal antibodies to mammalian heat shock proteins impair mouse embryo development in vitro. *Hum Reprod* 13, 987-990.
- Niles, D., Risco, C.A., 2002. Seasonal Evaluation of Artificial Insemination and Natural Service Pregnancy Rates in Dairy Herds. *Comp. Contin. Educ.* April, S44-S48.
- Orr, W.N., Cowan, R.T., Davison, T.M., 1993. Factors affecting pregnancy rate in Holstein-Friesian cattle mated during summer in a tropical upland environment. *Aust Vet J* 70, 251-256.

- Putney, D.J., Drost, M., Thatcher, W.W., 1988a. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between Days 1 to 7 post insemination. *Theriogenology* 30, 195-209.
- Putney, D.J., Drost, M., Thatcher, W.W., 1989a. Influence of summer heat stress on pregnancy rates of lactating dairy cattle following embryo transfer or artificial insemination. *Theriogenology* 31, 765-778.
- Putney, D.J., Mullins, S., Thatcher, W.W., Drost, M., Gross, T.S., 1988b. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim Reprod Sci* 19, 37-51.
- Putney, D.J., Mullins, S., Thatcher, W.W., Drost, M., Gross, T.S., 1989b. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim Reprod Sci* 19, 37-51.
- Ravagnolo, O., Misztal, I., 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J Dairy Sci* 83, 2126-2130.
- Ravagnolo, O., Misztal, I., 2002. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein cows: genetic analyses. *J Dairy Sci* 85, 3092-3100.
- Rhoads, M.L., Rhoads, R.P., Sanders, S.R., Carroll, S.H., Weber, W.J., Crooker, B.A., Collier, R.J., VanBaale, M.J., Baumgard, L.H., 2007. Effects of heat stress on production, lipid metabolism and somatotropin variables in lactating cows. *J Dairy Sci* 90 (Suppl. 1), 230 (Abstr.).

- Rivera, R.M., Hansen, P.J., 2001. Development of cultured bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. *Reproduction* 121, 107-115.
- Robertson, S.A., 2007. Seminal fluid signaling in the female reproductive tract: lessons from rodents and pigs. *J Anim Sci* 85, E36-44.
- Rosenberg, M., Hertz, Z., Davidson, M., Folman, Y., 1997. Seasonal variations in postpartum plasma progesterone levels and conception in primiparous and multiparous dairy cows. *J Reprod Fertil* 51, 363-367.
- Roth, Z., Arav, A., Bor, 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, 737-744.
- Santos, J.E., Thatcher, W.W., Chebel, R.C., Cerri, R.L., Galvao, K.N., 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim Reprod Sci* 82-83, 513-535.
- Shelton, K., Gayerie De Abreu, M.F., Hunter, M.G., Parkinson, T.J., Lamming, G.E., 1990. Luteal inadequacy during the early luteal phase of subfertile cows. *J Reprod Fertil* 90, 1-10.
- SIAP, 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Sirard, M.A., 2001. Resumption of meiosis: mechanism involved in meiotic progression and its relation with developmental competence. *Theriogenology* 55, 1241-1254.

- Smith, J.W., Ely, L.O., Gilson, W.D., Graves, W.M., 2004. Effects of artificial insemination vs. natural service breeding on production and reproduction parameters in dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 20, 185-190.
- Sonna, L.A., Fujita, J., Gaffin, S.L., Lilly, C.M., 2002. Invited review: Effects of heat and cold stress on mammalian gene expression. *J Appl Physiol* 92, 1725-1742.
- Stott, G.H., Wiersma, F., 1976. Short term thermal relief for improved fertility in dairy cattle during hot weather. *Int J Biometeorol* 20, 344-350.
- Thulasiraman, V., Xu, Z., Uma, S., Gu, Y., Chen, J.J., Matts, R.L., 1998. Evidence that Hsc70 negatively modulates the activation of the heme-regulated eIF-2 α kinase in rabbit reticulocyte lysate. *Eur J Biochem* 255, 552-562.
- Ulberg, L.C., Burfening, P.J., 1967. Embryo death resulting from adverse environment on spermatozoa or ova. *J Anim Sci* 26, 571-577.
- Ulberg, L.C., Sheean, L.A., 1973. Early development of mammalian embryos in elevated ambient temperatures. *J Reprod Fertil Suppl* 19, 155-161.
- Vogler, C.J., Bame, J.H., Dejarnette, J.M., McGilliard, M.L., 1993. Effects of elevated testicular temperature on morphology characteristics of ejaculated spermatozoa in the bovine. *Theriogenology* 40, 1207-1219.
- Vogler, C.J., Saacke, R.G., Bame, J.H., Dejarnette, J.M., McGilliard, M.L., 1991. Effects of scrotal insulation on viability characteristics of cryopreserved bovine semen. *J Dairy Sci* 74, 3827-3835.
- Walters, A.H., Eyestone, W.E., Saacke, R.G., Pearson, R.E., Gwazdauskas, F.C., 2004. The effect of different types of morphologically abnormal spermatozoa on bovine embryo development after IVF. *J Dairy Sci* 87, 353.

- West, J.W., 2002. Physiological effects of heat stress on production and reproduction. Proc Tri-State Dairy Nutr. Conf. Fort Wayne, IN, 1-9.
- White, F.J., Wettemann, R.P., Looper, M.L., Prado, T.M., Morgan, G.L., 2002. Seasonal effects on estrous behavior and time of ovulation in nonlactating beef cows. J Anim Sci 80, 3053-3059.
- Wiersma, F., 1990. THI for dairy cows. Department of Agricultural Engineer. The University of Arizona. Tucson, AZ.
- Wilson, S.J., Marion, R.S., Spain, J.N., Spiers, D.E., Keisler, D.H., Lucy, M.C., 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating cows. J Dairy Sci 81, 2124-2131.
- Wolfenson, D., Flamenbaum, I., Berman, A., 1988. Hyperthermia and body energy store effects on estrous behavior, conception rate, and corpus luteum function in dairy cows. J Dairy Sci 71, 3497-3504.
- Wolfenson, D., Lew, B.J., Thatcher, W.W., Graber, Y., Meidan, R., 1997. Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. Anim Reprod Sci 47, 9-19.
- Wolfenson, D., Roth, Z., Meidan, R., 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. Anim Reprod Sci 60-61, 535-547.
- Wolfenson, D., Thatcher, W.W., Badinga, L., Savio, J.D., Meidan, R., Lew, B.J., Braw-Tal, R., Berman, A., 1995. Effect of heat stress on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. Biol Reprod 52, 1106-1113.
- Woo, M., Hakem, R., Soengas, M.S., Duncan, G.S., Shahinian, A., Kagi, D., Hakem, A., McCurrach, M., Khoo, W., Kaufman, S.A., Senaldi, G., Howard, T.,

Lowe, S.W., Mak, T.W., 1998. Essential contribution of caspase 3/ CPP32 to apoptosis and its associated nuclear changes. *Genes Dev* 12, 806-819.

Xiang, J., Chao, D.T., Korsmeyer, S.J., 1996. BAX-induced cell death may not require interleukin 1 beta-converting enzyme-like proteases. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93, 14559-14563.