

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**EVALUACIÓN DE UN PROTOCOLO DE INSEMINACIÓN A
TIEMPO FIJO COMBINADO CON SUPLEMENTACIÓN DE
PROGESTERONA EN VAQUILLAS HOLSTEIN
DURANTE EL VERANO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA
JUAN AUGUSTO HERNÁNDEZ RIVERA**

**DIRECTOR DE TESIS
Ph. D. ABELARDO CORREA CALDERÓN**

MEXICALI, B.C.

MAYO DE 2008.

**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO
PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y
ACEPTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

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

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. Mayo de 2008.

**Ph. D. Abelardo Correa Calderón
Director de tesis**

**Ph. D. Leonel Avendaño Reyes
Sinodal**

**M. C. Daniel Álvarez Valenzuela
Sinodal**

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para realizar mis estudios de Maestría y poder así cumplir una de mis metas, para bien de la investigación científica.
- A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas por permitirme realizar mis estudios de maestría.
- Al Ph. D. Abelardo Correa Calderón, como director y asesor del presente trabajo de tesis, por compartirme sus conocimientos y experiencias, por tenerme paciencia, por haberme brindado su amistad y haber creído en mí.
- Al Ph. D. Leonel Avendaño Reyes, por su amable amistad, por su invaluable apoyo en la realización del análisis estadístico, por haberme enseñado Métodos Estadísticos, pero sobre todo por haber creído en mí
- Al M.C. Daniel Álvarez Valenzuela, por ser mi maestro y amigo, por enseñarme sus experiencias y conocimientos.
- AL Dr. Raúl Díaz Molina, por haberme apoyado arduamente en las pruebas de laboratorio.
- Al Ing. Juan Carlos Reynoso Maldonado, por el apoyo que me brindó para realizar parte fundamental de mi proyecto, por permitirme la entrada al rancho San Carlos.
- Al Ing. Rubén Fregoso Cardoso, por enseñarme a entender el manejo adecuado de los animales, por compartirme sus conocimientos y experiencias, por brindarme su apoyo técnico así como su amistad.

- A los trabajadores del rancho San Carlos, Raúl Juárez Amescua y Ma. Inés López Heras por su valiosa ayuda.
- A mis maestros y amigos, la Dra. Noemí G. Torrentera, Dr. Enrique Alvarez Almora, Dra. Adriana Morales, Dr. Miguel Cervantes, Ph. D. Adolfo Pérez Márquez, al M.C. Juan Rodríguez, Ph. D. Florencia Ardón M., Dr. Onécimo Grimaldo J., por que han tenido que ver con mi formación académica.
- A los trabajadores del ICA, Sergio, Regalado, Fernando, Francisco, Juan, Ricardo, Damián, Delfino, Esteban, Gregorio, Sandra, Nadia, Vicky, Delia, Juanita, Guille, Ramiro, Gabriel, Leobardo, todos por apoyarme de alguna manera en mis estudios y por ser mis amigos.
- A mis compañeros y amigos del postgrado, Rolando, Mario, Paco, Janer, Jorge, Alfonso, Alonso, Horacio, Juan Carlos, Rosalba, Eduardo Ponce, Rafa, José Luís, Cesar, Ramses, Lenin, Ulises Sánchez, Ulises Macias, Salvador, Edreí, Juan Escalante, Jaime, Alberto Quintero, Miguel Barrera, Esmeralda y Fernando Rivera.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por estar conmigo a cada momento de mi vida, por demostrarme que soy tu hijo predilecto y muy amado, por todas las bendiciones que me das día con día, porque iluminas mi vida y mi camino.

A mí Mamá:

María Esther Rivera Madrid

Por enseñarme la verdadera filosofía de vivir, por seguir conmigo hasta este momento de mi vida y por haberme formado como ser y como persona.

A mí abuelita:

Cecilia Esther Madrid Rendón

Por enseñarme el Don de la paciencia y el entendimiento, por enseñarme a sobrellevar los problemas con amor y gallardía.

A mis hermanos:

José Orlando y Ulises

Por que antes que hermanos somos amigos, por que han creído en mí y por que sé que siempre estaremos juntos.

A mi gran amiga y compañera:

Esther Sánchez Villalba

Por haberte conocido en el preciso momento de mi vida, por haberme aportado parte de tu vida y parte de tu tiempo, por que sé que cuento con tu apoyo, pero sobre todo por que te admiro.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de un protocolo de inseminación a tiempo fijo más suplementación de progesterona sobre la tasa de preñez y respuesta fisiológica de vaquillas Holstein durante el verano, se realizaron 2 experimentos de forma simultánea. En el experimento I se utilizaron 69 vaquillas de la raza Holstein las cuales fueron separadas en 3 tratamientos: El Tratamiento 1 (T1) consistió en la detección de celo natural e Inseminación artificial (I.A) AM-PM (n= 25), en tanto que el tratamiento 2 (T2) comprendió un protocolo de I.A a tiempo fijo mediante la aplicación intravaginal de un progestageno conocido comercialmente como CIDR (n=26), mientras que el tratamiento 3 (T3) incluyó el mismo protocolo que T2 más suplementación de progesterona mediante la aplicación del dispositivo CIDR del día 4 al 14 post-IA (n=18). Todos los tratamientos estuvieron bajo la sombra en el extremo oeste del corral sin acondicionamiento ambiental. En el experimento II (T1 n=23; T2 n=24; T3 n=22) fueron los mismos tratamientos que en el experimento I. Todos los tratamientos estuvieron bajo la sombra en el extremo oeste del corral con acondicionamiento ambiental. Para la determinación de la concentración de progesterona (P_4), triiodotironina (T_3) y tiroxina (T_4) se obtuvieron muestras sanguíneas los días 5, 9 y 14 post-IA. La frecuencia respiratoria (FR; respiraciones por minuto) y temperatura rectal (TR; °C) fueron tomadas tres veces por semana a las 1700 y 1800 h, respectivamente. Las variables P_4 , T_3 , T_4 , FR y TR se analizaron mediante un modelo de mediciones repetidas en el tiempo por el procedimiento PROC MIXED (SAS, 2003), las variables como días

al primer servicio, días a preñez fueron analizadas por el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2003). El diagnostico de preñez fue realizado por palpación rectal a los 40 días post-IA y fue analizada por medio de Ji-cuadrada por el procedimiento PROC FREQ (SAS, 2003). El índice de temperatura-humedad máximo y mínimo registrado durante los experimentos fue de 85.6 y 76.5 respectivamente. Experimento I: La frecuencia respiratoria (96, 99, 99 resp/min) así como la temperatura rectal (39.4, 39.4, 39.2 °C) fueron similares ($P>.05$) para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente. La tasa de preñez también fue similar ($P>.05$) entre T1 (40.0%), T2 (34.6%) y T3 (44.4%). No existió diferencia en la concentración de P_4 entre tratamientos (T1=4.4;T2 =3.6;T3=3.9 ng/ml). Los días a preñez fueron similares ($P>.05$) entre tratamientos. Experimento II: La frecuencia respiratoria (88, 86, 90 resp/min) así como la temperatura rectal (39.1, 39.2, 39.1 °C) fueron similares ($P>.05$) entre los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente. La tasa de preñez de T1 (65.2%) fue mayor ($P<.05$) que T2 (33.3%) pero similar ($P>.05$) a T3 (59.1%). Los niveles de P_4 de T3 (4.3 ng/ml) fueron mayores ($P<.05$) que T2 (3.3 ng/ml) pero similares a T1 (4.1 ng/ml). Los días a la preñez en T3 (26 d) fueron menores ($P<.05$) que en T2 (50 d) y T1 (42 d). La suplementación de progesterona en programas de IATF puede ser una herramienta útil durante el verano si a la vaquilla se le proporciona enfriamiento artificial.

SUMMARY

Two experiments were conducted to evaluate the effects of a protocol of artificial insemination (A.I) to fixed time plus progesterone supplementation on pregnancy rate and physiological response of Holstein heifers during the summer. Experiment I: 69 heifers were randomly allotted to one of three treatments. Treatment 1 (T1) with detection of natural heat and A.I following the rule AM-PM (n=25), a second treatment (T2) with a protocol of A.I to fixed time using an intravaginal device of progesterone known as CIDR (N=26), and a treatment 3 (T3) with the same protocol than T2 plus progesterone supplementation with the same progesterone device used for synchronization of estrus, which was inserted in the day 4 and removed at day 14 after insemination (n=18). All the treatments where under shade to the extreme west of the pen with out artificial cooling. Experiment II (T1 n=23; T2 n=24; T3 n=22) was just like described in experiment I. All the treatments where under shade to the extreme west of the pen with artificial cooling. Progesterone concentration (P_4 ; ng/ml), triiodothyronine (T_3 ;) and thyroxine (T_4 ;) days 5, 9 and 14 were obtained from blood samples post-IA. Respiration rate (RR; breaths per minute) and rectal temperature (RT; °C) were taken three times per week at 1700 and 1800 h respectively. Variables P_4 , T_3 , T_4 , RR and RT were analyzed by means of a model of repeated measures in the time by procedure PROC MIXED (SAS, 2003). Days to first service, days to the pregnancy were recorded and analyzed by the procedure GLM of SAS (SAS, 2003). Pregnancy diagnostic was made by rectal palpation to 40 days post-AI and was analyzed by Chi-Square with procedure PROC FREQ (SAS, 2003). The

temperature-humidity index maximum and minimum recorded ranged during the study from 85.6 and 76.5 respectively. Experiment I: Respiration rate (96, 99, 99 breaths/min) and the rectal temperature (39.3, 39.4, 39.2 °C) were similar ($P>.05$) for the treatments T1, T2, T3 respectively. Pregnancy rate also was similar ($P>.05$) among T1 (40%), T2 (34.6%) and T3 (44.4%). The concentration of P_4 was similar between T1 (4.4 ng/ml), T2 (3.6 ng/ml) and T3 (3.9 ng/ml). Days to the pregnancy were similar ($P>.05$) between treatments, however, T3 (33 d) is smaller ($P=.2$) than T1 (47 d) and minor ($P=.5$) who T2 (40 d) tended to show lower values in comparison to the others treatments. Experiment II: Respiration rate (88, 86, 90 breaths/min) and the rectal temperature (39.1, 39.2, 39.1 °C) were similar ($P>.05$) for the treatments T1, T2, T3 respectively. Pregnancy rate T1 (65.2%) was greater ($P<.05$) than T2 (33.3%) although T3 (59.1%) was similar ($P>.05$) to T1 and T2. The concentration of P_4 T3 (4.3 ng/ml) was greater ($P<.05$) than T2 (3.3 ng/ml) but T1 (4.1 ng/ml) was similar ($P>.05$) to the other treatments. Days to the pregnancy T3 (26 d) he was smaller ($P<.05$) than T2 (50 d) and T1 (42 d) was similar ($P>.05$) to T2 and T3. Progesterone supplementation in IATF programs can be a useful tool during the summer if to the heifer artificial cooling is provided to him.

CONTENIDO

AGRADACIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	v
RESUMEN.....	vi
SUMMARY.....	viii
CONTENIDO.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xv
LISTA DE FIGURAS DEL APÉNDICE.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Estrés.....	4
Estrés calórico y zona termoneutral.....	5
Mecanismos de termorregulación en el ganado.....	7
Cambios cardiovasculares bajo condiciones de estrés calórico.....	9
Cambios respiratorios bajo condiciones de estrés calórico.....	11
Cambios hormonales en respuesta al estrés calórico.....	12
Efecto de altas temperaturas ambientales sobre el cuerpo lúteo, calidad del óvulo y desarrollo embrionario.....	16
Efecto del estrés calórico sobre la fertilidad.....	20
Estrategias de manejo para incrementar la fertilidad en el verano.....	21
Estrategias para reducir el estrés calórico.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
Ubicación del área de estudio.....	26
Descripción de instalaciones.....	26
Datos climatológicos.....	28
Animales experimentales y tratamientos.....	28

Periodos experimentales.....	31
Variables de respuesta.....	31
Análisis estadístico.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Datos climatológicos.....	33
EXPERIMENTO I.....	34
Frecuencia respiratoria y temperatura rectal.....	34
Tasa de preñez, días a primer servicio y días a preñez.....	36
Concentración de triiodotironina.....	40
Concentración de tiroxina.....	41
Concentración de progesterona.....	43
EXPERIMENTO II.....	45
Frecuencia respiratoria y temperatura rectal.....	45
Tasa de preñez, días a primer servicio y días a preñez.....	47
Concentración de triiodotironina.....	50
Concentración de tiroxina.....	52
Concentración de progesterona.....	53
CONCLUSIÓN.....	71
LITERATURA CITADA.....	72
APÉNDICE.....	93

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ingredientes de la dieta.....	55
2	Composición química de la dieta.....	56
3	Temperatura ambiental durante el período experimental. Experimento I y II.....	57
4	Humedad relativa durante el período experimental. Experimento I y II.....	58
5	Índice de temperatura humedad durante el período experimental. Experimento I y II.....	59
6	Efecto del período sobre la frecuencia respiratoria y temperatura rectal. Experimento I.....	60
7	Efecto de los tratamientos sobre la tasa de preñez a primer servicio, días a primer servicio y días a preñez. Experimento I.....	61
8	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de triiodotironina en vaquillas Holstein. Experimento I.....	62
9	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de tiroxina en vaquillas Holstein. Experimento I.....	63
10	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de progesterona en vaquillas Holstein. Experimento I.....	64
11	Efecto del período sobre la frecuencia respiratoria y temperatura rectal. Experimento II.....	65
12	Efecto de los tratamientos sobre la tasa de preñez a primer servicio, días a primer servicio y días a preñez. Experimento II.....	66
13	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de triiodotironina en vaquillas Holstein. Experimento II.....	67

14	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de tiroxina en vaquillas Holstein. Experimento I.....	68
15	Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de progesterona en vaquillas Holstein. Experimento II.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Programa de sincronización e inseminación a tiempo fijo.....	70

LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro		Página
1	Efecto del tratamiento sobre la frecuencia respiratoria. Experimento I.....	94
2	Efecto del período sobre la frecuencia respiratoria. Experimento I.....	95
3	Efecto del tratamiento sobre la temperatura rectal. Experimento I.....	96
4	Efecto del período sobre la temperatura rectal. Experimento I.....	97
5	Efecto del tratamiento sobre la frecuencia respiratoria. Experimento II.....	98
6	Efecto del período sobre la Frecuencia Respiratoria. Experimento II.....	99
7	Efecto del tratamiento sobre la Temperatura Rectal. Experimento II.....	100
8	Efecto del período sobre la Temperatura Rectal. Experimento II.....	101

LISTA DE FIGURAS DEL APÉNDICE

Figura		Página
1	Promedio de ITH en el Valle de Mexicali en el verano 2006.....	102
2	Promedios diarios de ITH durante las horas del día (0600-1700 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.....	103
3	Promedios diarios de ITH durante las horas de la noche (1800-0500 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.....	104
4	Promedios diarios de ITH durante las horas del día (0000-2300 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.....	105

INTRODUCCIÓN

Durante el verano en zonas geográficas con climas calidos, la eficiencia reproductiva del ganado lechero tiende a disminuir, esto se presenta como resultado de los efectos negativos que sufren los animales a causa del estrés calórico (EC) que trae como consecuencia la reducción en la duración e intensidad del estro, el cual ocasiona que algunos de los celos no sean detectados, de esta manera se incrementan los servicios por concepción, días a la preñez y pérdidas embrionarias (Santos *et al.*, 2004). Estrategias como la suplementación de progesterona (P_4), sincronización del estro y/o la ovulación han demostrado ser una excelente herramienta para la detección del estro y para el manejo reproductivo de las vaquillas lecheras durante el verano, además que el uso de estas herramientas incrementa la tasa de preñez (Jordan, 2003).

Diversos autores indican que el principal fenómeno responsable de la baja fertilidad durante el verano es la muerte embrionaria (Ayalon, 1978; Zavy, 1994; Breuel *et al.* 1993). El-Zarkouny *et al.* (2004) señalan que después de la IA la síntesis y secreción de P_4 por el cuerpo lúteo (CL), juega un papel muy importante en la preparación del útero en espera de la implantación y posterior desarrollo del embrión. El desarrollo embrionario esta asociado con la concentración de P_4 y la capacidad del mismo para secretar interferón- γ (proteína encargada del reconocimiento de la preñez) alrededor del día 17 de la gestación o en su defecto para la secreción de $PGF_2\alpha$ (Mann *et al.*, 1999). Se ha demostrado que la administración de P_4 de manera exógena estimula el desarrollo embrionario (Thatcher *et al.*, 1994). La administración de P_4 de

manera exógena vía dispositivos intravaginales (CIDR) incrementan la concentración de P_4 plasmática al aplicarlo por 7 días a partir del día 5 y hasta el día 12 post-IA (Robinson *et al.*, 1989). Se ha demostrado que cuando vacas Holstein en lactación son suplementadas con progesterona (CIDR; colocado el día 7 post-IA y retirado 11 días después) durante el verano en Israel no mejoran la TP (Wolfenson *et al.*, 1994). En contraste cuando se realiza este mismo tratamiento en vacas sin EC logra mejorar la TP (Robinson *et al.*, 1989; Sianangama y Rajamahendran, 1992). En un estudio realizado por Walton *et al.* (1990) bajo condiciones termoneutrales en vacas Holstein suplementadas con P_4 (CIDR; aplicado el día 5 y retirado al día 12 post-IA) en Ontario, Canadá obtuvieron una TP del 61.5%. Summers *et al.* (1999) realizaron un estudio en vacas de carne primíparas y multíparas suplementando P_4 (CIDR) entre los días 5 al 14 post-inseminación con el objetivo de incrementar la TP al día 28 de la gestación, obteniendo niveles de 2.8 y 5.2 ng/ml para el grupo tratado vs 2.4 y 4.4 ng/ml del tratamiento testigo el día 5 y 14 respectivamente, los cuales mostraron ser diferentes, esta diferencia fue atribuida a la suplementación exógena de P_4 .

La falta de concepción en el ganado lechero coincidente con la disminución normal de P_4 a partir del día 6 después de la inseminación (Thatcher *et al.*, 2001). Kaim *et al.* (2003) reportaron que la tasa de concepción de vacas y vaquillas lecheras en el verano puede ser mejorada hasta 16% mediante la IATF. Investigaciones recientes han demostrado que el uso de protocolos Ovsynch modificados (Ambrose *et al.*, 2005) que incluyen cipionato de estradiol

(ECP) a dosis de 0.5-1.0 mg, progestágenos (CIDR, dispositivo intravaginal con 1.9 gr de progesterona) y prostaglandinas ($\text{PGF}_{2\alpha}$) a dosis de 25 mg, para la IATF resultaron en 66% de preñez en vaquillas lecheras.

Para reducir los efectos del calor es importante usar sistemas de enfriamientos, se ha demostrado que aunque el 100% de vaquillas sean inseminadas bajo un protocolo de IATF en verano se llega a encontrar tasas de preñez de 49-66% (Xu y Burton, 1999). Armstrong (1994) ha encontrado que la temperatura corporal del ganado lechero puede ser reducida parcialmente mediante el uso de sistemas de enfriamiento y mejorar su fertilidad.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de un protocolo de inseminación a tiempo fijo más suplementación de progesterona sobre la tasa de concepción y respuesta fisiológica de vaquillas Holstein durante el verano.

REVISIÓN DE LITERATURA

Estrés

El estrés se define como una condición contraria al confort del animal el cual produce una alteración en la homeostasis del animal (Stott, 1981). De manera general, el término estrés se ha usado en el campo de la fisiología para denotar lo contrario a bienestar, este ocupa un lugar muy importante en relación al estrés. En términos de energía el estrés se define como la carga de trabajo impuesta a un individuo (NAS, 1971), y la reacción a esta carga se identifica como tensión. El estrés puede ser: 1) climático, tal como un intenso frío o calor; nutricional, debido a la privación de agua o alimento; 2) social, a causa de un bajo rango en la jerarquía social; 3) por patógenos o toxinas (Stott, 1981). Siegel (1995) señala que puede verse al medio ambiente como un conjunto de estresores que interactúan entre sí, y que puede incluir todas las condiciones en las cuales viven los seres vivos (temperatura, luz, medio ambiente social y medio ambiente conductual), así, cómo aquellos factores internos (enfermedades, microorganismos, toxinas). Existe la teoría acerca de las respuestas internas del organismo al estrés y ésta teoría es conocida como El Síndrome General de Adaptación (SGA) que se caracteriza por tres estados consecutivos: 1) el estado de alarma, usualmente conocido como "choque", en el cual la adaptación aún no se ha adquirido. En este estado, se produce un agrandamiento de las glándulas adrenales y una oleada inicial de glucocorticosteroides, seguida por un agotamiento de sus reservas; 2) el estado de resistencia, en el cual la

adaptación es óptima y la corteza adrenal vuelve a abastecerse de gránulos secretores de glucocorticosteroides; y 3) el estado de exhaustación, en el cual la adaptación adquirida se pierde nuevamente y los glucocorticosteroides se agotan (Friend, 1990). Este modelo, se basó en la liberación o secreción de glucocorticosteroides y en su determinación por la concentración de ellos en la sangre.

Estrés calórico (EC) y Zona Termoneutral (ZT)

El EC es un término que se describe por el incremento de diversas condiciones ambientales tales como: humedad relativa, temperatura ambiental, radiación solar, velocidad del viento, etc., (Jordan, 2003). El EC se presenta cuando cualquier combinación de estas condiciones ambientales, causa una falta de confort en el animal debido a una ineficiencia en la pérdida de calor, por lo que provoca efectos negativos sobre la eficiencia productiva y reproductiva del ganado lechero (Armstrong, 1994), ya que este tipo de ganado produce gran cantidad de calor metabólico, lo cual, sumado con el calor generado por el ambiente, incrementan la ganancia de calor corporal (Fuquay, 1981). Lo anteriormente indicado genera una carga calórica al punto de que la temperatura corporal se incrementa y da como resultado la condición conocida como EC (Hahn, 1999). Se ha desarrollado un índice para estimar el grado de estrés calórico para vacas en producción que combina la temperatura y humedad relativa del ambiente, el cual, ha sido llamado Índice de Temperatura-Humedad (ITH) (Wiersma, 1990). El EC se produce cuando el ITH, excede las 72 unidades

en vacas en producción (Armstrong, 1994). En términos generales, el ambiente que rodea a un animal puede influenciar la cantidad de calor intercambiada entre el animal y el ambiente, por lo tanto, puede influenciar los ajustes fisiológicos considerablemente.

La ZT se define como el rango de temperatura ambiental dentro de la cual, la tasa metabólica es mínima y la regulación de la temperatura se logra únicamente por procesos físicos no evaporativos (Bligh y Johnson, 1973), esta puede variar de acuerdo a diversos factores tales como: raza y especie animal, tipo y nivel de producción, edad y alimentación (West, 2003). La ZT está limitada en su parte inferior por la temperatura crítica más baja, la cual se define como: la temperatura ambiente debajo de la cual la producción de calor metabólico (CM) de un animal en reposo se incrementa para mantener un balance térmico en el animal tal como temblar o tiritar (Young, 1981). La temperatura superior de la ZT es conocida como temperatura crítica más alta que se define como: la temperatura ambiental arriba de la cual las pérdidas de calor por medios evaporativos de un animal en reposo son incrementadas y es el punto donde el EC inicia (Bligh y Johnson, 1973). Hahn (1976) reporta que la ZT para vaquillas de entre 12 y 24 meses de edad es de -5 a 27°C a diferencia de la vaca lechera en lactación que es de 4 a 24°C o para vacas en etapa de secado que es de -14 a 27°C ó en becerras de 10 a 26°C. Sin embargo, Albright y Alliston (1971) encontraron que la temperatura ideal para vacas Holstein en producción se localiza en el rango de -12.2 a 23.9 °C. Para la mayoría de los animales

domésticos, una temperatura diaria del medio, entre 10 y 20°C, no induciría problemas de EC (National Academy of Sciences, 1971).

Mecanismos de termorregulación en el ganado

La termorregulación se define como el medio por el cual un animal mantiene su temperatura corporal (Bligh y Johnson, 1973). El aumento de la temperatura corporal está relacionado por diversos factores ambientales como la velocidad del aire, temperatura ambiental, humedad relativa y principalmente la radiación solar. Armstrong (1994) indica que el ganado lechero bajo estrés calórico severo presenta las siguientes características: 1) reducción en el consumo de alimento, 2) incremento en el consumo de agua, 3) cambios en la tasa metabólica y requerimientos para mantenimiento, 4) incrementa la pérdida de agua por evaporación, 5) se ve incrementada la frecuencia respiratoria, 6) se observan cambios en la concentración hormonal en sangre, e 7) incrementa la temperatura corporal. Existen diversos mecanismos de termorregulación en el ganado como los cardiovasculares, respiratorios, balance ácido base, donde intervienen hormonas de origen tiroideo, pancreáticas, adrenales e hipofisiarias (NAS, 1971).

Un problema grave para la producción animal en ambientes calurosos es el intercambio de calor. La pérdida de calor por medio de la evaporación es una de las formas en que las vacas lecheras eliminan calor, cuando se exponen a altas temperaturas. Los animales viven en un equilibrio dinámico con su ambiente térmico. El mantenimiento de éste equilibrio involucra varias

interacciones de factores ambientales, fisiológicos y de conducta. Para los homeotermos, el estrés calórico ocurre bajo condiciones en las que el animal no puede disipar el calor corporal. Bajo éstas condiciones, la temperatura del cuerpo y las pulsaciones del corazón se incrementan, se reduce el consumo de alimento, lo que afecta negativamente la producción y reproducción (Lefcourt y Adams, 1996). Al igual que otros mamíferos, los bovinos, son homeotérmicos, es decir, que regulan la temperatura interna dentro de un rango estrecho ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$), esto se logra por el aumento uniforme del calor producido por medio del metabolismo, liberando calor interno al medio ambiente circundante, vía conducción, convección, radiación y evaporación (Berman *et al.*, 1985). Cuando la temperatura ambiental se encuentra entre 18 y 24°C , el promedio de la temperatura rectal en bovinos es de 38.7°C . No obstante la temperatura rectal se incrementa 1.4°C en vacas Holstein, cuando la temperatura ambiental se encuentra entre los 32 y 35°C (Gwazdauskas *et al.*, 1973). En vacas lecheras en plena lactancia que tienen altas tasas de producción de calor, la hipertermia puede ocurrir a partir temperaturas ambientales de 24°C y humedad relativa de 80% (Berman *et al.*, 1985; Du Preez *et al.*, 1991).

Cuando se presenta un fenómeno de hipertermia, es en respuesta a mantener la temperatura corporal, para lo cual el organismo modifica su metabólico, respiración, sudoración, consumo de alimento y agua etc., lo cual ayuda a la reducción de la producción de calor interno y la pérdida del mismo (Hansen *et al.*, 1998).

La excesiva carga de calor impuesta sobre el organismo por la temperatura ambiente, es expresada comúnmente con un aumento de la temperatura corporal (Berman *et al.*, 1985).

Durante el EC, el organismo debe estar en equilibrio para mantenerse en un estado de confort, por lo que se asocia con la reducción de hormonas tiroideas, la motilidad y el llenado ruminal (Fuquay, 1981). La reducción en el consumo de alimento se da en respuesta a una temperatura corporal alta, aunque de manera secundaria se puede también relacionar con el llenado ruminal, debido a que la actividad y motilidad del rumen se reduce por que la tasa de pasaje del alimento por el tracto gastrointestinal es lenta bajo condiciones de EC (Silanikove, 1992).

Cambios cardiovasculares bajo condiciones de estrés calórico

El sistema cardiovascular presenta mecanismos de termorregulación importantes, uno de ellos es el incremento del flujo sanguíneo a la periferia, lo que incrementa la pérdida de calor por evaporación (Dampney, 1974). El EC ocurre bajo condiciones en las que el animal no puede disipar el calor corporal debido a que los mecanismos cardiovasculares ni algún otro son suficientes para reducir la temperatura corporal (Ingram y Whittow, 1963). Bajo éstas condiciones, la temperatura del cuerpo y las pulsaciones del corazón se incrementan al mismo tiempo que el flujo sanguíneo hacia la piel. Estos mecanismos son controlados por el centro vasomotor, localizado en la médula oblongata del cordón espinal, el cual responde a la información enviada desde el

hipotálamo, donde induce una vasodilatación periférica en preparación para la sudoración y pérdida de calor por medios evaporativos (Thompson, 1984), por lo que la irrigación sanguínea disminuye principalmente en el sistema digestivo, glándula mamaria y el útero, afectando procesos como la producción y reproducción (Brown y Harrison, 1981). En condiciones de EC agudo originado por exposiciones prolongadas a ambientes calurosos se puede poner en peligro la vida del ganado (Lefcourt y Adams, 1996). El sistema cardiovascular provee uno de los mayores mecanismos de termorregulación y sirve como un medio para transferir o enviar información térmica hacia diferentes partes del organismo. Esto involucra un balance entre el calor ganado y el calor perdido, incluyendo el calor metabólico, más el calor agregado por ejercicio, crecimiento, lactación, gestación, y alimentación (Phillips y Jennings, 1973). Las altas proporciones de estas actividades podrían ocasionar una mayor ganancia de calor metabólico. Durante los días con más horas luz casi todo el calor obtenido del medio ambiente proviene de la radiación solar. La radiación es una condición importante para la pérdida de calor siempre y cuando el entorno este más fresco que el animal, lo cual si la humedad relativa aumenta y la temperatura ambiental es alta aún en un día nublado, estas condiciones impiden que el animal se refresque por radiación. El calor es ganado por convección o conducción sólo si la temperatura del aire o los objetos en contacto con el animal son mayores a la de la piel (Fuquay, 1981).

Los componentes sanguíneos pueden sufrir alteraciones a causa del calor ambiental. Los cambios en el volumen plasmático reajustan al sistema

circulatorio, provocando modificaciones en la osmolaridad plasmática, mismos que se asocian a cambios en la producción de la hormona antidiurética (Blair-West *et al.*, 1979).

Cambios respiratorios bajo condiciones de estrés calórico

En climas cálidos, el jadeo, es necesario para lograr un enfriamiento evaporativo imprescindible en la sobrevivencia de los mamíferos (Macfarlane *et al.*, 1958). Sin embargo, este mecanismo requiere de un consumo de agua continuo, ya que conforme se incrementa la tasa respiratoria más agua se vaporiza, reflejándose en un mayor consumo de agua, mientras que cuando las tasas respiratorias y de vaporización disminuyen al mínimo, el consumo de agua descende (Appleman y Delouche, 1958). En los rumiantes, las principales pérdidas de agua se producen por la evaporación, excreción en heces, orina y en las hembras lactantes mediante la producción de leche. Las pérdidas evaporativas de agua dependen de muchos factores, incluyendo el tiempo en que los animales se exponen a altas temperaturas y niveles de radiación solar (Butterworth, 1987), ya que cuando la temperatura ambiental excede a la temperatura corporal, el agua es especialmente necesaria para los propósitos termorreguladores. Bajo tales condiciones, el calor corporal sólo puede disiparse a través de vías evaporativas (Müller y Van Aken, 1990). La tasa respiratoria es un indicador del balance térmico del animal. Una vaca con 80 respiraciones por minuto se puede considerar como un animal estresado por calor (Poterfield, 1996). El ganado bovino a temperaturas ambientales de 41.1°C y humedades

relativas de 78% ha mostrado tasas respiratorias de 102 resp/min (Gwazdauskas, 1985). Wise *et al.* (1988a) han reportado en vacas Holstein 126.4 resp/min con un ITH de 86.2 unidades. En situaciones como la anterior la ventilación respiratoria puede incrementarse hasta 10 veces en ganado bovino, sin embargo, el jadeo no es tan efectivo como el sudor en proveer enfriamiento evaporativo.

Existen dos fases de respiración, cuando existe un EC medio ocurre una respiración poco profunda conocida como polipnea y la ventilación de espacio muerto incrementa más que la ventilación alveolar, esto produce muy poco efecto sobre el bióxido de carbono en la sangre arterial; y la segunda fase bajo un estrés calórico más severo ocurre cuando la temperatura corporal es poco menor a los 41°C, aquí la frecuencia respiratoria decrece y la capacidad vital se incrementa, aumenta la ventilación alveolar hasta 5 veces y se ve incrementada la pérdida de bióxido de carbono lo que origina una alcalosis respiratoria (Benjamín, 1981).

Cambios hormonales en respuesta al estrés calórico

La implicación del eje HPA (Hipófisis Adrenales) en la adaptación al estrés ha recibido considerable atención en los cerdos y el ganado vacuno (Abilay *et al.*, 1975), los cambios en la concentración de cortisol por causa del estrés calórico varían mucho, ya que depende de la temperatura ambiental, la humedad relativa y la duración de la exposición al calor, y su determinación constituye un indicador válido de estrés (Becker *et al.*, 1985; Hahn *et al.*, 1992).

Muchas glándulas endócrinas responden al estrés ambiental en diversos grados (DuPreez *et al.*, 1990), siendo las glándulas pituitaria, adrenales (corteza y médula) y tiroides, las más activas en la adaptación. Comúnmente se cita como evidencia de estrés crónico al incremento en la producción de glucocorticoides, el que ocasiona una hipertrofia e hiperplasia de la adrenal, la cual ocurre cuando un animal está sujeto a un agente estresante por un tiempo suficientemente prolongado aproximadamente 48 horas (Mal *et al.*, 1991).

Niezgoda *et al.* (1993) y Burden *et al.* (1993), coinciden en que los ejes simpático-adrenal y pituitaria-corteza adrenal, son los indicadores más sensitivos y específicos del estrés en los animales, considerándose como la respuesta clásica al estrés los niveles incrementados de catecolaminas y glucocorticoides plasmáticos.

Estudios recientes indican que las concentraciones plasmáticas de estradiol son bajas en condiciones de estrés calórico. Vacas en lactación y vaquillas lecheras bajo estrés calórico durante la segunda mitad del ciclo estral o durante el ciclo entero tienen concentraciones bajas de estradiol plasmático (Wolfenson *et al.*, 1995). Se ha observado que el estradiol plasmático es bajo durante la primera oleada folicular en vacas y vaquillas bajo EC a diferencia de animales en condiciones termoneutrales. La baja de estradiol plasmático registrada durante el verano es más marcada al final del verano (Septiembre) en comparación a la mitad de esta época (Julio) (Badinga *et al.*, 1993), debido a que el calor se acumula y entre mas tiempo estén expuestos los animales a este

tipo de estrés, más severo será el impacto en la función folicular. En contraste, estudios realizados en vacas Holstein en diferentes estaciones del año, indicaron niveles altos de estradiol durante la fase preovulatoria en el mes de Agosto (32.9°C) en la Florida, en comparación con los meses de Abril (28.2°C), Junio (31.9°C) o Noviembre (22.2°C). Lo anterior fue atribuido al uso de un sistema de enfriamiento el cual pudo reducir los efectos negativos del EC sobre la calidad de los folículos en la fase preovulatoria durante los meses de Junio y Agosto (Badinga *et al.*, 1994).

La TSH o tiotropina es el regulador más importante de la síntesis y liberación de las hormonas tiroideas, mediante la formación de adenosina 3',5'-monofosfato cíclico (AMPc) y la fosforilación de las proteínas Kinasas en las células tiroideas. Por su parte, la secreción de TSH se regula a través de las hormonas tiroideas, que inhiben por retroalimentación negativa, la síntesis tanto de la hormona liberadora de tiotropina (TRH), en el hipotálamo, como la de la misma TSH en la hipófisis. La exposición al frío, eleva las concentraciones plasmáticas de tiroxina (T_4), triiodotironina (T_3) y cortisol (Kennedy *et al.*, 1977). Los rumiantes muestran respuestas fisiológicas adaptativas cuando son expuestos al frío y a la restricción alimentaria. La exposición al frío, reduce las temperaturas rectales de corderos e incrementa los niveles plasmáticos de cortisol, aumenta la tasa metabólica, e incrementa la insulina y la T_3 , cuando los animales tienen una adecuada ingesta de energía. La restricción alimenticia incrementa los niveles plasmáticos de cortisol, pero reduce la ganancia diaria

promedio de peso, la tasa metabólica, el balance energético, la temperatura rectal y los niveles de insulina y T_3 .

Recientemente se ha evidenciado el papel que tienen las hormonas T_3 y T_4 en la regulación de la esteroidogénesis de folículos bovinos. Spicer *et al.* (2001) en un estudio in vitro realizado en esta especie, reportaron que la T_4 puede ejercer un impacto positivo leve sobre la producción de progesterona, inducida por FSH en células de la granulosa, mientras que T_3 y T_4 pueden ejercer un mayor impacto positivo sobre la producción de androstenediona en las células de la teca, lo cual podría resultar en un incremento neto de la producción de estrógenos por los folículos. Thrift *et al.* (1999) estudiaron el efecto del hipotiroidismo inducido en vacas Brahman primíparas, encontrando un incremento en la ganancia de peso y supresión de la producción láctea debido a que las vacas que fueron tratadas con 6-n-propil-2-tiouracilo (PTU) para la inducción de hipotiroidismo, presentaron una disminución en la concentración de T_3 durante el período de tratamiento, en cuanto a la concentración de T_4 se vio aumentada por una desionización periférica de T_4 a T_3 , lo cual no se reflejó en un mejor comportamiento reproductivo. En la actualidad el método de elección para la cuantificación de los niveles de T_4 y T_3 , en bovinos y otras especies, es el Radioinmunoanálisis (RIA) (Capuco *et al.*, 2001; De Moraes *et al.*, 1998). La temperatura ambiente, por ejemplo, afecta los niveles de tiroxina por lo que se ha reportado una tasa de secreción de tiroxina más alta en la primavera en comparación al verano (Vanjonack y Johnson, 1975). El ganado lechero bajo condiciones termoneutrales presenta una concentración de tiroxina de entre 50 y

70 ng/ml y para T_3 alrededor de 0.3 a 2.0 ng/ml (Anderson, 1971; Convey *et al.*, 1978). Otros trabajos indican que vaquillas Angus sometidas a EC en el verano (ITH=85.2), presentaron una concentración de 1.1 y 58.4 ng/ml para T_3 y T_4 respectivamente (Mader y Kreikemeier, 2006). Por su parte Wilks *et al.* (1990) reportaron 0.75 y 39.2 ng/ml de T_3 y T_4 respectivamente en un estudio realizado en Texas con vacas Holstein primíparas y multíparas bajo condiciones de EC a temperaturas de 40.8°C y humedad relativa 85.

Kahl y Bitman (1983) determinaron bajo condiciones termoneutrales la relación entre la concentración plasmática de T_4 y T_3 con la tasa de crecimiento tanto en hembras como en machos Holstein entre la semana 6 a la 22, encontrando niveles promedio para T_4 de 53.3 y para T_3 1.21 ng/ml en los machos, en tanto que para las hembras fue de 39.9 y 1.06 respectivamente. En un estudio en borregas realizado por Kennedy *et al.* (1977) se encontró una concentración de 0.62 ng/ml para T_3 y de 80.0 ng/ml para T_4 , este experimento también se realizó bajo condiciones termoneutrales.

Efecto de altas temperaturas ambientales sobre el cuerpo lúteo, calidad del óvulo y desarrollo embrionario

El efecto del estrés calórico en la función del cuerpo lúteo (CL) se debe considerar principalmente para estimar las concentraciones de progesterona plasmática (P_4). Es importante estimar la concentración de P_4 , ya que a mayores niveles de esta hormona, existe una mayor probabilidad de mejorar la supervivencia del embrión. Sin embargo, las concentraciones de P_4 plasmática

no solo dependen de la síntesis del CL, sino también de la tasa de secreción en la circulación; esta última va depender del flujo sanguíneo en el ovario que contiene al CL, el cual en conejos bajo condiciones de EC la producción de P_4 se ve disminuida en un 30% (Wolfenson *et al.*, 2000). La posible liberación de P_4 de las suprarrenales, el metabolismo del hígado, la hemodilución o hemoconcentración, el grado de hipertermia, el tipo de estrés calórico (agudo, crónico, moderado), la edad del ganado, la etapa de la lactación y el tipo de alimentación, pueden contribuir a la variación de los niveles de P_4 plasmática (Trout *et al.*, 1998; Jonsson *et al.*, 1997). Un estudio realizado por Shaham-Albalancy *et al.* (2000) mostró un promedio de 4.2 ng/ml de P_4 en vacas durante el día 6 al 15 del ciclo estral, por otra parte Reimers *et al.* (1983) reportan niveles de P_4 plasmática bajos, medios y altos, de 2.3, 7.0 y 17.1 ng/ml respectivamente en vacas en fase de diestro. Thrift *et al.* (1999) reportaron 13.6 ng/ml de P_4 plasmática en el día 10, 11 y 12 del primer ciclo estral para vaquillas Brahman bajo condiciones termoneutrales. En otro trabajo realizado por Gwazdauskas (1985) indica que la media de P_4 plasmática es más alta para vacas preparturientas sometidas a EC sin sombra que animales con sombra (6.0 contra 5.1 ng/ml). Los niveles altos de P_4 se deben quizá al incremento en la secreción o reducción del metabolismo del cuerpo lúteo. Abilay *et al.* (1975) en un estudio realizado bajo condiciones similares a este trabajo demostraron en vaquillas Guernsey un incremento de P_4 en el primer y segundo ciclo estral debido a un EC agudo producido por las horas calidas del día lo cual estimula la función secretora de las adrenales para la síntesis de progestágenos y corticosteroides,

sin embargo, la concentración de P_4 en el segundo ciclo estral puede ser menor de lo normal. Los resultados de estos trabajos difieren a otros que reportan una disminución de P_4 plasmática bajo condiciones de EC (Wise *et al.*, 1988b; Wolfenson *et al.*, 1988b), algunos otros estudios no reportan cambios en la concentración de P_4 de vacas sometidas a EC (Wise *et al.*, 1988a; Thatcher y Collier, 1986). La exposición de vacas (Trout *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 1998a) o vaquillas (Wilson *et al.*, 1998b) a EC durante la segunda mitad del ciclo produce un incremento en la concentración de P_4 plasmática asociado al retraso de la lúteolisis. Younas *et al.* (1993) encontraron un incremento en la secreción de progesterona lútea en vacas expuestas a EC, en respuesta a un sistema de enfriamiento en comparación a un grupo testigo. Howell *et al.* (1994) reportan una disminución en la concentración de P_4 plasmática en vacas durante el verano, el cual no fue asociado a ningún cambio en el área del CL. Otro estudio en vacas Holstein realizado por Jonsson *et al.* (1997) mostró una disminución de P_4 plasmática en el verano (ITH=78) comparado con las concentraciones observadas en el invierno (ITH=69), esta diferencia no fue afectada por el consumo de materia seca, condición corporal o la producción de leche, si no mas bien esta disminución estuvo relacionada a la carga de calor. Se ha observado que la concentración de P_4 disminuye en vacas sujetas a EC crónico y aumenta en vacas sujetas a un EC agudo (Wolfenson *et al.*, 2000). Wolfenson *et al.* (1993) reportaron (estudios in Vitro) la supresión directa de la producción de P_4 producida por altas temperaturas. Células del CL colectadas de vacas en el verano produjeron menos P_4 durante las 2 h de incubación a 38°C y la

viabilidad de la célula fue más baja que la de las células colectadas en el invierno. También células del CL tomadas en el invierno e incubadas a 40°C produjeron 30% menos P_4 similar a las células incubadas a 38°C.

La exposición al calor durante el verano conduce al EC, el cual reduce la producción de P_4 , lo cual puede tener efectos negativos antes y después de la IA. Una baja en la concentración de P_4 puede tener también efectos en el desarrollo folicular conduciendo a la maduración anormal del ovulo y posteriormente a una muerte embrionaria temprana (Santos *et al.*, 2004a). La baja producción de P_4 afecta la esteroidogénesis en el folículo dominante y subsecuentemente en la formación del CL, también altera la morfología endometrial y con ello la función consecuente del ciclo estrual (Thatcher *et al.*, 2001). La baja de P_4 después de la IA incrementa notablemente las pérdidas embrionarias, sin embargo, la efectividad en la suplementación de P_4 post-IA para mejorar la fertilidad aún sigue en discusión (Mann and Lamming, 2001). Robinson *et al.* (1989) encontraron un aumento en la fertilidad del 60% en vacas Holstein suplantando P_4 en el verano, a través del uso de dispositivos intravaginales (PRID, con 1.5 g P_4), sin embargo, Breuel *et al.* (1990) administraron hCG el día 4 post-IA para elevar los niveles de P_4 e incrementar la fertilidad en vaquillas Angus, Brangus y Charolais en el verano, pero no encontraron efecto alguno.

Por otra parte, los efectos del EC sobre la calidad de los óvulos y el desarrollo embrionario debe considerar lo siguiente: 1). La exposición al calor

durante las diversas etapas de la maduración del óvulo y el desarrollo temprano del embrión, afecta negativamente la función del óvulo y el embrión. 2). El incremento en la tolerancia del embrión al calor se incrementa con la edad del mismo. 3). La producción de proteínas de shock por calor producidas por el embrión y su función potencial en la protección del embrión durante el EC. 4). El posible uso de antioxidantes que incrementan la resistencia del embrión al estrés térmico (Edwards y Hansen, 1997; Rocha *et al.*, 1998). Otros efectos del EC en el ambiente uterino y la función endometrial son: 1). La producción de proteínas de shock por calor producidas por el endometrio durante el EC y sus respectivas complicaciones. 2). La reducción en la producción del interferon- γ en la concepción. 3). El incremento en la producción y liberación de PGF2 α del endometrio durante el EC y sus respectivas complicaciones para el reconocimiento de la preñez y el mantenimiento del CL (Thatcher and Collier, 1986; Thatcher and Hansen, 1992; Hansen, 1997; Hansen *et al.*, 1992; Zavy, 1994).

Efecto del estrés calórico sobre la fertilidad

Diversos factores afectan la tasa de preñez, pero el EC parece tener un impacto mayor (Sartori *et al.*, 2002), ya que puede afectar la duración del estro, la concepción, función uterina, estado endocrino y hormonal, crecimiento folicular, mecanismos luteolíticos, desarrollo embrionario, crecimiento del producto, etc. (Jordan, 2003), y esto ocurre principalmente en vacas altas productoras (Hansen, 2002). Este mismo autor indicó que los embriones que

resultan de los óvulos fertilizados afectados por el calor tienen una probabilidad baja de desarrollo normal dentro del útero.

La exposición de las vacas a altas temperaturas puede afectar la esteroidogénesis y la viabilidad de ovulo (Zeron *et al.*, 2001; Al Katanani *et al.*, 2002), reduciendo la calidad del ovulo (Hansen *et al.*, 2002), y la tasa de fertilidad (Sartori *et al.*, 2002). Chebel *et al.* (2004) observaron que las vacas expuestas a EC antes de la IA, tenían un 31-33% menos de probabilidad para concebir comparado con las que no fueron expuestas a EC. Drost *et al.* (1999) demostraron que la transferencia de embriones producidos in vivo en vacas expuestas bajo condiciones termoneutrales incrementa la tasa de preñez en vacas receptoras bajo EC comparadas con vacas con EC e inseminadas artificialmente. Cartmill *et al.* (2001) observaron una pérdida extremadamente alta en la preñez en vacas expuestas a EC (42.7%), en comparación a lo que se observó para vacas en etapa similar de la gestación que no fueron expuestas a EC (5%). Diversos autores indican que el principal fenómeno responsable de la baja fertilidad durante el verano es la muerte embrionaria (Ayalon, 1978; Zavy, 1994; Breuel *et al.* 1993).

Estrategias de manejo para incrementar la fertilidad en el verano

Gwazdauskas (1985) indica que la fertilidad en vacas es entre 40-80% bajo condiciones termoneutrales (9.8 a 22°C); sin embargo, vacas expuestas a temperaturas entre los 27 a 41°C tuvieron una fertilidad de 50 a 10% respectivamente. Investigaciones recientes reportan que el uso de protocolos

Ovsynch modificados (Ambrose *et al.*, 2005) que incluyen cipionato de estradiol (ECP) a dosis de 0.5-1.0 mg, progestágenos (CIDR, dispositivo intravaginal con 1.9 gr de P4) y prostaglandinas ($\text{PGF}_{2\alpha}$) a dosis de 25 mg, para la IATF, resultaron en 66% de preñez en vaquillas lecheras. Stevenson *et al.* (1997) y Kaim *et al.* (2003) reportaron que la tasa de concepción de vacas y vaquillas lecheras en el verano puede ser mejorada 15-16% mediante la IATF. Sin embargo vaquillas con una condición corporal baja (≤ 2.0) sometidas a este protocolo redujeron su fertilidad hasta en un 30% (Lamb *et al.*, 2001). Kaim *et al.* (2003) encontraron que vaquillas lecheras bajo IATF durante el verano tuvieron una tasa de concepción de 60.3% en tanto que en el invierno fue de 68.8%.

La eficacia del CIDR para la sincronización de estros en ganado lechero ha sido demostrada por diversos investigadores y reportan que dosis de 0.5-1.0 mg de ECP han sido usadas en combinación con CIDR con buenos resultados en la sincronización de la ovulación del ganado lechero. Pancarci *et al.* (2002) reportaron que el 85.5% de vacas que recibieron ECP 1 d después de la aplicación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ ovularon entre 48-72 h a la aplicación de la misma. La IA 48 h después de la aplicación de ECP beneficia la viabilidad y transporte espermático hacia los oviductos en un lapso de 6 h. Se sabe que los signos de calor incrementan cuando las vacas se les administra ECP, lo cual se atribuye a las altas concentraciones plasmáticas de estradiol alrededor del estro. Bó *et al.* (2002) señalan que iniciar programas de sincronización de estros en vaquillas lecheras mediante el uso de ECP y CIDR resulta en el inicio del desarrollo de un

nuevo folículo en 4.1 ± 0.1 d con respecto al día de la aplicación de estas hormonas.

Cartmill *et al.* (2001) realizaron un experimento con vacas Holstein bajo condiciones de EC ($ITH \geq 80$) para evaluar dos protocolos de sincronización Ovsynch vs Select Synch y obtuvieron una TP de 33.3% (69/207) vs 17.9% (41/218) respectivamente.

Vaquillas que estuvieron bajo un protocolo de sincronización con el uso de CIDR y al momento de su retiro aplicación de $PGF_{2\alpha}$ y ECP 24 h después manifestaron un incremento en la producción de LH y ovulación con una tasa de preñez de 64.8%. Ambrose *et al.* (2005) reportaron que vaquillas lecheras sujetas a este protocolo presentaron un diámetro folicular preovulatorio de 13.9 mm al momento de la segunda aplicación de ECP, además 100% de vaquillas ovularon en 38.1 h aproximadamente después de aplicar esta segunda dosis de ECP y entre 24-50 h después de la administración se presentaron los mayores niveles de LH (9.3 ng/ml).

Estrategias para reducir el estrés calórico

Las altas temperaturas ambientales reducen la eficiencia reproductiva ya que el animal es sometido a un estrés térmico. Para mejorar la fertilidad en el verano es importante bajar los niveles de hipertermia ya sea de tipo agudo o crónico en las vacas o vaquillas, se puede lograr mediante la manipulación ambiental. Durante las dos décadas pasadas, se han desarrollado nuevos

sistemas de enfriamiento que se basan principalmente en el mojado de la vaca con agua para refrescarla directamente por la evaporación de la piel, o en el enfriamiento por evaporación del aire que rodea las vacas (Bucklin *et al.*, 1991; Berman y Wolfenson, 1992; Armstrong, 1994; Huber, 1996). Colectivamente, la mayoría de los estudios demuestran que tales sistemas alcanzan cierta mejoría en la fertilidad de granjas comerciales, comparada con grupos testigos donde no se usan estos sistemas, aunque esta mejoría no se compara con la fertilidad en el invierno. La razón de esto es la inhabilidad en los procedimientos de enfriamiento, los cuales son incapaces de eliminar por completo la hipertermia durante el verano. Sin embargo, la eliminación completa del EC por el uso intensivo y frecuente de los sistemas de enfriamiento con aspersión y ventilación bajo condiciones experimentales restaura la tasa de concepción en el verano comparable a las registradas en el invierno (Wolfenson *et al.*, 1988). En ambientes controlados a base de sombras y sistemas de enfriamiento por aspersión y/o ventilación se ha encontrado una fertilidad de 22% a temperaturas de 42°C, no así en cámaras de control ambiental, donde en un ambiente de confort con temperaturas de 17-21.3°C la fertilidad fue de 48-50%, pero a temperaturas de entre 21-32°C la fertilidad fue de 0%.

Por otra parte es necesario considerar otros aspectos como estrategia para reducir el estrés calórico como lo es el aspecto nutricional, ya que la energía liberada que resulta del metabolismo se encuentra intimadamente ligada con la termorregulación, digestibilidad y motilidad intestinal de la vaca (West, 1999), la reducción de la cantidad de fibra que se considera como un elemento

que genera mucho calor, puede reducir el calor interno del animal (Cummnis, 1989), así también si modificamos la proporción de grasas, proteínas puede mejorar el desempeño fisiológico.

También se puede considerar el aspecto genético, precisamente con el desarrollo de mejores razas que tengan mayor adaptabilidad al medio ambiente, en este caso a las altas temperaturas, haciendo cruzamientos entre razas de tipo cebuino con razas de tipo europeo, todo ello ofrece una gran ventaja para incrementar la resistencia a condiciones ambientales extremas (Arechiga *et al.* 1998a; Gaughan *et al.*, 1999), sin embargo, una desventaja a considerar es que la producción de leche tiende a ser disminuida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El experimento se realizó durante el verano del año 2006 en el rancho “San Carlos” dedicado a la cría de vaquillas Holstein y engorda de novillos de la misma raza, bajo un sistema de explotación intensiva. Su localización es en el kilómetro No. 15 de la carretera Mexicali-San Felipe, lote No. 12 de la colonia Colorado 6 en el Valle de Mexicali, Baja California. Geográficamente se ubica al noroeste de la república mexicana y en la parte septentrional de la Península de Baja California a una altura de 10 msnm, sus coordenadas geográficas son: al norte 32° 43", al sur 30° 52" de latitud norte; al este 114° 42" y al oeste 115° 56" de longitud oeste localizado al noreste del Estado de Baja California. El clima es cálido seco, con una temperatura media anual de 22°C aunque en los meses de Julio y Agosto puede alcanzar temperaturas de hasta 50°C. El flujo de vientos provienen de noroeste a suroeste la mayor parte del año y su precipitación pluvial anual promedio es de 76 milímetros cúbicos (SAGARPA, 2004).

Descripción de instalaciones

Sombras y corrales

Las sombras están construidas con techos de lámina galvanizada con estructura de tubo de acero y con una orientación de norte a sur, y se ubican al extremo oeste del corral. Las dimensiones de las sombras fueron 18.14x 5.82 m con una altura de 2.78 m. Las medidas de los corrales fueron 29.90x33.5 m

dando un total de 1001.65 m² correspondiéndole 20 m² a cada animal. Los corrales estaban contruidos con postes de tubo y varilla de acero, en la parte norte se encontraba el área de comederos la cual contaba con trampas individuales unidas entre sí (.63 m de ancho, .91 m de altura a partir de la pared interna del comedero), tipo semiautomáticas de inmovilidad. A lo largo del comedero tenia un piso con una anchura de 2.13 m que mide lo mismo de largo del corral, las dimensiones del comedero de forma trapezoidal son como a continuación se describen: ancho inferior .61 m, ancho superior .67 m, altura interna .64 m y altura externa .45 m , el bebedero está entre el corral 1 y 2, mide 2.5x.94 m con .30 m de fondo.

Equipo de enfriamiento

El sistema de enfriamiento consistió en tres pares de abanicos de 90 cm de diámetro y motores de ½ hp, produciendo un movimiento de aire de 180 m³/min. Los abanicos fueron colocados bajo la sombra de uno de los corrales con una separación de 3 m y la altura con respecto al piso de 2.5 m. A cada abanico se le colocaron dos mangueras con 4 válvulas cada una dirigidas al este con emisión de gota fina, el gasto de agua por abanico fue de 52 L/h. Al frente de la sombra en la parte superior de la estructura se colocó una tubería adicional con 24 válvulas más de aspersión vertical bajo las mismas características. El sistema operó 8 horas diarias de 1000 a 1800 h.

Datos climatológicos

Datos de temperatura ambiental así como la humedad relativa se obtuvieron de las 24 h del día correspondientes al periodo experimental, a través del Departamento de Meteorología del Instituto de Ingeniería de la UABC, con ellos se calculó el ITH mediante la siguiente fórmula propuesta por Hahn en 1999:

$$ITH = 0.81 T_{amb} + HR (T_{amb} - 14.4) + 46.4$$

Donde:

ITH = Índice de Temperatura Humedad (U)

T_{amb} = Temperatura ambiental (°C)

HR = % Humedad Relativa (expresado en decimales)

Animales experimentales y tratamientos

El estudio se dividió en dos experimentos, los cuales se condujeron de forma simultánea y fueron evaluados individualmente, las vaquillas del experimento I (bajo sombra) y II (bajo un sistema de enfriamiento) se ubicaron en los corrales 1 y 2 respectivamente, el estudio tuvo una duración de 15 semanas. Al inicio de cada período experimental se seleccionaron los animales de acuerdo a la disposición y manejo del rancho, de manera que se utilizaron en total 138 vaquillas Holstein (n=69 para experimento 1 y 2 respectivamente) con

un promedio de 13 meses de edad y peso promedio de 384 kilogramos y una condición corporal de 3, esta fue tomada de acuerdo al promedio de la calificación de 3 personas distintas anotando lo siguiente: vaquillas emaciadas 1, vaquillas finas 2, vaquillas medias 3, vaquillas gordas 4 y vaquillas obesas 5 (Ferguson *et al.*, 1994). Las vaquillas se manejaron bajo el mismo régimen alimenticio (Cuadro 1 y 2). Para determinar si las vaquillas se encontraban ciclando, se tomaron 2 muestras sanguíneas a todos los animales el día -10 así como el día 0 del experimento, de esta manera, se obtuvo un promedio entre los dos días para determinar la concentración de P_4 , donde niveles <1 ng/ml significaba que el animal no está ciclando (Santos *et al.*, 2004).

De acuerdo a lo anterior, los animales de cada experimento fueron asignados aleatoriamente a uno de tres tratamientos por cada periodo experimental. Los tratamientos del experimento I se describen a continuación:

a). Grupo testigo, T1 (n=25). Detección de celos por la mañana y tarde con inseminación artificial 12 h después de observado el celo. A este grupo se le administró dosis de placebo (suero salino), para homologar el manejo realizado en los tratamientos 2 y 3.

b). Grupo experimental, T2 (n=26). Consistió en la sincronización de la ovulación con CIDR (dispositivo intravaginal con 1.9 gr de progesterona, P_4) el cual fue colocado el día 0 y se retiró 8 días después de iniciado el experimento. Bajo este mismo intervalo de tiempo se administró ECP (cipionato de estradiol a dosis de 0.5 mg por animal), asimismo, 7 días después de que diera inició el

experimento se administró prostaglandinas (PGF₂ α) a razón de 25 mg por vaquilla (Ambrose *et al.*, 2005). Tres días después de la administración de PGF₂ α se realizó la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) (Figura 1).

c). Grupo experimental, T3 (n=18). Lo mismo que lo descrito en T2 más suplementación de P₄ (CIDR) al cuarto día post-IA.

Los tratamientos del experimento II (T1 n=23; T2 n=24; T3 n=22) son los mismos que los descritos anteriormente en el experimento I, más un sistema de enfriamiento con aspersores y abanicos.

El diagnostico de gestación se realizó por el técnico encargado del rancho, alrededor del día 40 post-IA para cada tratamiento de ambos experimentos.

Las 3 muestras sanguíneas tomadas los días 5, 9 y 14 post-IA, fue para observar el comportamiento de la suplementación de P₄ (CIDR) expresado en la concentración de P₄ plasmática. También a partir de esas muestras sanguíneas se determinó la concentración de T₃ y T₄. Todas las muestras de sangre fueron centrifugadas a 1500 rpm a una temperatura de 10°C durante 15 minutos, una vez obtenido el plasma sanguíneo fue almacenado a una temperatura de -25°C para su posterior análisis de laboratorio, bajo la prueba de Elisa por espectrofotómetro.

Periodos experimentales

- El período 1 del 29 de Junio al 29 de julio del año 2006.
- El período 2 del 29 de Julio al 29 de agosto del año 2006.
- El período 3 del 29 de Agosto al 29 de septiembre del año 2006.

Variables de respuesta

- Tasa de Preñez (TP) por tratamiento, es el porcentaje de vaquillas preñadas al primer servicio (PS).
- Días a primer servicio (DPS) por tratamiento, son los días que transcurrieron del día cero del experimento a la primera IA.
- Días a preñez (DP) por tratamiento, son los días que transcurrieron a partir del inicio del experimento hasta el día en que se diagnosticaron preñadas.
- Frecuencia Respiratoria (FR) (resp/min), es el número de movimientos del tórax durante 60 segundos. Tomada tres veces a la semana a las 1800 h, tomando 5 vaquillas al azar por cada tratamiento.
- Temperatura Rectal (TR) (°C), se tomó tres veces a la semana a las 1800 h, introduciendo el termómetro 10 cm en el recto de cada vaquilla. Se usó un termómetro digital modelo 15-600-000 de Mabis Health Care Inc.
- Concentración de Progesterona (P_4) (ng/ml), se obtuvo a partir de tres muestras sanguíneas realizadas los días 5, 9 y 14 post-IA
- Concentración de Triiodotironina (T_3) (ng/ml), igual que P_4 .
- Concentración de Tiroxina (T_4) (ng/ml), Igual que P_4 y T_3 .

Análisis estadístico

Las variables se analizaron mediante un diseño completamente al azar, utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = Error experimental.

Para el análisis estadístico del efecto de tratamientos sobre la TP se hizo una prueba de Ji-cuadrada con procedimiento PROC FREQ (SAS, 2003). La FR, TR y perfiles hormonales (P_4 , T_3 y T_4), se analizaron mediante un modelo de mediciones repetidas en el tiempo por el procedimiento PROC MIXED (SAS, 2003). Algunas otras variables como días al primer servicio, días a la preñez fueron registradas y analizadas por el procedimiento GLM (SAS, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos climatológicos

Los promedios de temperatura ambiental se muestran en el cuadro 3, mientras que en el cuadro 4 se presentan los promedios de humedad relativa registrados semanalmente durante el estudio. De acuerdo a la caracterización de las temperaturas ambientales en el noroeste de México reportadas por el CIMIS (2002), el rango de temperatura ambiental durante los períodos 1, 2 y 3 se consideró de templado a caliente. El promedio de temperatura ambiental máxima en los períodos 1, 2 y 3 fue 43.2, 42.4 y 39.1 °C, en tanto que el promedio de temperaturas mínimas fueron 31.1, 29.0 y 26.2 °C, respectivamente. Las temperaturas mínimas mostraron ser altas, por lo que es posible que las vaquillas se hayan mantenido bajo un EC continuo durante las 24 h del día. De acuerdo a lo reportado por Igono *et al.* (1992) vacas Holstein sometidas a estrés por calor durante las horas del día pero con temperaturas por debajo de los 21 °C durante la noche por al menos 6 h estas pueden perder la carga de calor obtenida durante el día. El promedio de temperatura máximo y mínimo durante todo el experimento fue de 41.1 y 28.4 °C respectivamente.

El porcentaje promedio de humedad relativa máxima registrada en los períodos 1, 2 y 3 fue de 58.8, 59.3 y 48.7% respectivamente, en tanto que el valor promedio mínimo fue de 21.0, 17.6 y 17.4% respectivamente. El promedio general de humedad máxima y mínima (3 períodos) durante todo el período

experimental fue de 54.6 y 18.3% respectivamente. Estos valores de humedad relativa se consideran bajos y característicos de zonas áridas.

Los ITH calculados durante las 15 semanas del experimento se muestran en el cuadro 5. El ITH máximo y mínimo registrado durante el experimento fue de 85.6 y 76.5 unidades respectivamente, es por ello que los valores máximos obtenidos en los períodos 1 (88.2 U), 2 (86.1 U) y 3 (82.6 U), así como los mínimos (79.4, 77.6 y 73.0 U respectivamente) son considerados dentro de un ITH de moderado a severo (Hahn, 1976). Los valores mencionados anteriormente son mayores a las 72 unidades, punto crítico en el cual el estrés calórico empieza a afectar a la vaca en producción (Johnson, 1980).

EXPERIMENTO I

Frecuencia respiratoria (FR) y temperatura rectal (TR)

El cuadro 6 muestra los promedios de FR y TR obtenidos durante cada período del experimento. Se observó que los promedios de FR por período obtenidos durante la investigación fueron mayores ($P < 0.05$) para los periodos 1 (104.6 resp/min) y 2 (101.0 resp/min) en comparación al período 3 (89.1 resp/min), debido a que los períodos 1 y 2 presentaron mayores temperaturas que el período 3. Un menor ITH también se observó en el período 3. Wilson *et al.* (1998b) reportaron en vaquillas Holstein estresadas por calor en cámara ambiental 85.0 resp/min con un ITH de 85 U, tan solo 4 resp/min menos que lo observado en el período 3 de este estudio. También en cámaras ambientales

otros autores (Pereira *et al.*, 2008) han reportado en vaquillas Frisian hasta 131 resp/min durante las horas pico de calor (1530 h) con un ITH de 75 U, 19% más que lo registrado en el período 1. Wise *et al.* (1988a) realizaron un experimento bajo condiciones climáticas similares al presente trabajo en vacas Holstein, reportando 126.4 resp/min a un ITH de 86.2 unidades. Lo anterior no coincide con los datos reportados aquí, sin embargo, es evidente que al aumentar la temperatura ambiental se incrementada la FR como sucedió en este trabajo. Trout *et al.* (1998) reportaron también en vacas Holstein estresadas por calor, 97 resp/min, lo cual coincide con lo reportado en el período 1 y 2 de este estudio. Thompson (1984) indica que una vaca con 80 resp/min, se considera en condición de estrés por calor; por su parte, Hahn *et al.* (1997) señalan que cuando la tasa respiratoria excede las 120 resp/min, el animal está sujeto a una excesiva carga de calor. En base a lo anterior podemos señalar que durante los 3 períodos del experimento los animales tuvieron una carga de calor por arriba de lo normal (Armstrong, 1994).

La TR promedio en el período 1 (39.7°C) fue mayor ($P<0.05$) que el observado en los períodos 2 (39.2°C) y 3 (39.1°C) siendo estos últimos similares ($P>0.05$). Lo anterior pudo haber sido debido a las mismas razones señaladas en la discusión de FR. Howell *et al.* (1994) reportaron en vacas Holstein durante el verano temperaturas rectales de 38.8 °C con ITH de 85 U, lo cual indica un nivel alto de estrés similar a lo reportado en nuestro período 3 (38.9 °C). De la misma forma, Younas *et al.* (1993) encontraron en vacas Holstein temperaturas rectales parecidas a lo reportado en el período 1 de este estudio, las cuales se

obtuvieron durante dos veranos seguidos que fueron 39.3 y 40.0 °C respectivamente, la temperatura ambiental en cada verano fue de 31.2 °C y 31.0 °C, mientras que la humedad relativa fue de 88.7 y 92.8% respectivamente. Wilson *et al.* (1998b) realizaron un estudio con vaquillas Holstein bajo condiciones de EC (ITH=83 U) en ambiente controlado encontrando que a los 17 días de iniciado el estudio las vaquillas registraron una temperatura rectal de 39.6 °C, lo cual fue semejante a lo observado en el período 1 de nuestro estudio. Otro estudio realizado por Abilay *et al.* (1975), observaron una temperatura rectal de 39.6°C en ambiente controlado con ITH de 84 U en períodos de 2 ciclos estrales en vaquillas Guernsey, esto coincide con el primer período del experimento, ya que nuestras vaquillas estuvieron expuestas a temperaturas incluso mas altas durante este período que las que reporta el autor, sin embargo, animales manejados en cámaras ambientales reportan un EC más severo en comparación con animales que se encuentran en ambientes abiertos debido a que la disipación de calor es más lenta (Biggers *et al.*, 1987).

Tasa de Preñez (TP), Días a Primer Servicio (DPS) y Días a Preñez (DP)

El cuadro 7 muestra los resultados de la TP, DPS y los DP correspondientes a cada tratamiento durante el experimento. Se puede observar que TP no fue afectada por el tratamiento ($P>0.05$). Se ha demostrado que cuando vacas Holstein en lactación son suplementadas con progesterona durante el verano no mejoran la TP (Wolfenson *et al.*, 1994). En contraste cuando se realiza este mismo tratamiento en vacas sin EC se logra mejorar la

TP (Robinson *et al.*, 1989; Sianangama y Rajamahendran, 1992). Aunque nuestros datos no mostraron variación entre sí, existe una diferencia numérica ya que T3 (44.4%) mostró TP de 10 ($P=0.8$) y 22 ($P=0.5$) % por arriba de T1 (40.0%) y T2 (34.6%). El resultado de T3 de nuestro experimento es superior (59%) que lo reportado por Van Cleeff *et al.* (1996) en el verano de 1988 en Florida con vaquillas Holstein suplementadas con P_4 (CIDR) en los días 1-8 post-inseminación. Van Cleeff *et al.* (1991) realizaron un estudio en los meses de Mayo a Julio de 1990 en Florida el cual suplementaron P_4 (CIDR) en vaquillas Holstein los días 7-12 post-inseminación, reportando una TP de 58.2% en el grupo suplementado el cual fue similar al grupo testigo (54.2%). Es posible que los efectos exógenos de P_4 sean más favorables para aquellos animales los cuales presentan menor fertilidad por lactancias exhaustivas, por secuelas de enfermedades o por efecto de preñez es pasadas, sobre todo en vacas multíparas, sin embargo, estos efectos son menores para vaquillas normalmente fértiles (Folman *et al.*, 1990). Por otro lado Robinson *et al.* (1989) al suplementar vacas Holstein con P_4 (CIDR) entre los días 5-12 post-IA obtuvieron una TP 26% por arriba de lo reportado en nuestro tratamiento 3 durante el verano. Mann y Lamming (1999) indican que si la TP es baja en el ganado lechero (<50%) al suplementar con P_4 (CIDR) esta logra mejorarse (19%), mientras que si la TP es alta (>50%) la suplementación no ofrece mayores ventajas. La baja TP mostrada en nuestra investigación puede estar asociada a cuerpos lúteos poco funcionales en nuestras vaquillas (Wiebold, 1988). Se ha sugerido que el incremento en la concentración de P_4 en vacas estresadas por calor puede ocurrir después del

día 7, mientras que el daño al embrión ocurre a partir del estro (previo a la IA) y hasta los primeros 7 de gestación (Putney *et al.*, 1988; Ealy *et al.*, 1993). Por otra parte los tratamientos 2 y 3 pudieron haber presentado niveles bajos de P_4 durante el ciclo estral previo a la IA, afectando la producción de LH y FSH asimismo el mantenimiento del folículo dominante dando como resultado una tasa de concepción baja después de la inseminación (Santos *et al.*, 2001; Mihm *et al.*, 1994). La elevada temperatura rectal que se registró en las vaquillas durante el experimento pudo haber afectado también la TP ya que para reducir la temperatura corporal del animal es necesaria la sudoración y el jadeo, quedando limitada la irrigación del útero por la redistribución de la sangre a otros órganos (Elvinger *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1991; McGuire *et al.*, 1989; Richards, 1985), por esta razón la tasa metabólica del embrión se incrementa alterando la disponibilidad de nutrientes así como su crecimiento y desarrollo (Biggers *et al.*, 1987) resultando en muerte embrionaria y con ello la interrupción de la gestación.

Aunque los tratamientos 1 (84.2%), 2 (82.6%) y 3 (82.4%) mostraron estar ciclando de manera regular antes de iniciado el experimento, no fue posible determinar el porcentaje de vaquillas que ovularon el día de la inseminación, lo cual también pudo ser motivo de baja TP. Pancarci *et al.* (2002) en un estudio realizado de forma simultanea en Florida y Texas con vacas primíparas raza Holstein durante los meses de Febrero a Junio del año 2000, obtuvieron una TP con sincronización a tiempo fijo de 43.5 y 40.6% en Florida y Texas respectivamente, 2 y 8% por debajo de lo mostrado en nuestro T3, estos valores

bajos se deben a que las vaquillas presentaron asincronía en la ovulación el día de la IATF. Por su parte Wolfenson *et al.* (1988a) observaron en vacas Holstein estresadas por calor (ITH=82 U) una TP menor (68%) que lo reportado en nuestro T3 de acuerdo a lo obtenido durante dos veranos consecutivos lo cual puede deberse a que las condiciones ambientales son completamente distintas en cada región, donde intervienen factores como la humedad, velocidad del aire, la misma temperatura ambiental etc. Otro estudio realizado por Her *et al.* (1988) con vacas Israelí-Holstein sometidas a EC durante el verano las cuales estuvieron bajo sincronización e inseminación artificial a tiempo fijo (CIDR) obtuvieron TP 36% con un ITH de 87 U, lo cual fue atribuido a que las vacas no ovularon el día de la inseminación, este resultado es muy parecido al resultado de T2 de nuestro análisis.

Los tratamientos 2 y 3 (10 d) provocaron una disminución promedio del 55% ($P<0.05$) sobre los DPS con respecto al tratamiento testigo (celo natural), el cual se observa que existe una mayor eficiencia en la reducción de DPS al utilizar la sincronización del estro. Los tratamientos no provocaron variación en los DP ($P>0.05$); sin embargo, numéricamente existe una diferencia ya que se aprecia una disminución de los DP por efecto de T3 (33 d) con respecto a los tratamientos 1 y 2 (14 y 7 d respectivamente), este comportamiento es atribuido al reducido tamaño de muestra experimenta

Concentración de Triiodotironina (T_3)

El cuadro 8 muestra los promedios de T_3 obtenidos durante el período de estudio. En el período 1 el promedio por tratamiento fue diferente ($P<0.05$) siendo mayor T1 (2.9 ng/ml) que T2 (2.1 ng/ml) pero igual ($P>0.05$) que T3 (2.5 ng/ml). No diferencias ($P>0.05$) fueron observadas entre los tratamientos 2 y 3. El promedio de cada tratamiento obtenido en el período 2 resultó diferente ($P<0.05$), debido a que es mayor T1 (3.5 ng/ml) que T2 (2.5 ng/ml) y T3 (2.5 ng/ml). El promedio por tratamiento obtenido en el período 3 no indica diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos. Se observa que el promedio general por tratamiento es mayor ($P<0.05$) en T1 (2.9 ng/ml) que T2 (2.3 ng/ml), aunque T3 (2.6 ng/ml) fue igual ($P>0.05$) a ambos tratamientos. En términos generales, lo anterior se debe a que T2 fue el más afectado por el EC, esto queda demostrado con los promedios obtenidos en T1, T2 y T3 de FR (96.5, 99.0 y 99.1 resp/min respectivamente) y TR (39.4, 39.4 y 39.2 °C respectivamente), los cuales resultaron ser iguales ($P>0.05$), no obstante, si tomamos en cuenta la interacción entre estas dos variables, T2 es mayor en relación a los tratamientos 1 y 3. Hurley *et al.* (1981) observaron en cámara ambiental 1.1 ng/ml en vaquillas Holstein estresadas por calor a un ITH de 84 U. Mader y Kreikemeier (2006) por su parte en Nebraska encontraron durante el verano-otoño (ITH=77 unidades) niveles de 1.2 ng/ml en vaquillas Angus. Por otra parte Thrift *et al.* (1999) cuando indujeron hipertiroidismo en vaquillas Brahman bajo condiciones termoneutrales administrando 2 ml de T_3 diariamente (0.5 mg/ml) obtuvieron un promedio de 2.1 ng/ml.

Los valores reportados en nuestro experimento son ligeramente altos en relación a lo reportado por diversos autores (Thrift *et al.*, 1999ab; Hurley *et al.*, 1981; De Moraes *et al.*, 1998; Refsal *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 1991), sin embargo, es importante considerar que las condiciones de manejo en cada lugar son distintas, por lo que en el caso de nuestras vaquillas estuvieron sometidas a un riguroso programa de crecimiento acelerado, debido a ello es posible que los animales hayan mantenido su metabolismo alto por la manipulación principalmente la dieta así como aspectos reproductivos de tipo hormonal para la inseminación temprana. Silanikove (2000) indica que las concentraciones bajas de las hormonas tiroideas no son necesariamente consecuencia de una disminución en el consumo de alimento, si no que también tiene que ver con diversos procesos complejos de tipo neuroendocrino, el cual se relaciona con las interacciones secuenciales entre termorreceptores, hipotálamo, adenohipófisis y tiroides.

Concentración de Tiroxina (T₄)

Las concentraciones de T₄ se muestran en el cuadro 9. Los promedios de los tratamientos 1, 2 y 3 obtenidos en los períodos 1 (91.5, 92.6 y 82.7 ng/ml respectivamente) y 2 (88.4, 79.5 y 79.0 ng/ml respectivamente) son semejantes ($P>0.05$), debido a que el ITH máximo registrado en el primer y segundo período fue más intenso en relación al período 3, este mismo comportamiento de los períodos por tratamiento lo tuvo FR y TR, por esta razón el análisis de variación indicó efecto de tratamiento en el período 3 ($P<0.05$) por que es mayor T₂ (79.9

ng/ml) que T1 (53.9 ng/ml) aunque T3 (69.5 ng/ml) es igual ($P>0.05$) a ambos tratamientos. El comportamiento en la concentración de T_4 observada en los 3 períodos sugiere que las vaquillas presentaron EC acumulado, sin embargo, este efecto es difícil determinarlo debido al limitado tiempo en la disposición de los animales, ya que tuvieron que ser distribuidos en 3 períodos y no en un solo período experimental. Por lo tanto, es necesario seguir investigando para saber el comportamiento de T_4 en vaquillas expuestas a estrés por calor en esta región, por lo que es necesario tomar en cuenta que los resultados pueden variar debido a que el comportamiento ambiental suele cambiar año con año. El promedio general por tratamiento resultaron semejantes ($P>0.05$). Esto coincide con lo reportado por Biggers *et al.* (1987) quienes encontraron niveles bajos de T_4 . Por otra parte, cuanto mas caliente sea el ambiente mayor será el estímulo en la disminución de la secreción de la tiroides que un ambiente de características cada vez más frías. Los resultados presentados en este trabajo (T1 y T3) son parecidos a lo reportado por Hurley *et al.* (1981), obteniendo en vaquillas Holstein un promedio de 74.4 ng/ml a un ITH de 84 U en cámara ambiental. El promedio total en el T3 fue 14% más que el reportado por Mader y Kreikemeier (2006) en un estudio que se condujo en Nebraska durante el verano con vaquillas Angus con un ITH promedio de 77 U. Aunque Vanjonack y Johnson (1975) al conducir un experimento con vacas Holstein a un ITH de 78 U durante la primavera obtuvieron 79.5 ng/ml tan solo 5% menos de lo reportado en el promedio general del T2 de este experimento.

Concentración de Progesterona (P₄)

El cuadro 10 muestra los promedios de P₄ obtenidos en los 3 períodos experimentales. El promedio general considerando los tres períodos de tratamiento fueron iguales ($P>0.05$). Esto coincide con lo reportado por Biggers *et al.* (1987) los cuales evaluaron el comportamiento de P₄ plasmática bajo dos niveles de EC en vacas Hereford y Hereford cruzada con Angus formando dos tratamientos, ambos con la misma temperatura (37 °C) pero a diferente humedad relativa (27 y 38% respectivamente) obteniendo resultados similares de 6.8 y 7.4 ng/ml respectivamente. Si embargo, nuestros resultados presentan diferencias numéricas entre sí, por que T1 (4.4 ng/ml) es mayor que T2 (3.6 ng/ml) y T3 (3.9 ng/ml) así como T3 es mayor que T2. Esto concuerda con el estudio realizado por Walton *et al.* (1990) el cual reportaron un 22% más de P₄ plasmática para vacas Holstein que pertenecían a un grupo testigo en comparación con vacas suplementadas con P₄ (4.7 ng/ml), 17% más que lo reportado en T3 de nuestro estudio. Por lo tanto es posible que estas diferencias de P₄ plasmática pudieran ser suficientes para incrementar la TP como se observó en T1 (40.0%) y T3 (44.4%) en relación a T2 (34.6%). Es probable que el CL de nuestro grupo testigo sea más funcional y que produzca más P₄ por que se obtuvo a partir de un celo natural, en comparación a los CL de T2 y T3 que se obtuvieron a partir de la sincronización de la ovulación y que son menos funcionales. Cartmill *et al.* (2001) realizaron un estudio donde evaluaron la tasa preñez al día 27 post-IA y en vacas Holstein en lactación bajo EC sincronizadas con Ovsynch, encontrando un 33.3% de preñez, sin embargo, al evaluar la TP

alrededor del día 40 mediante palpación esta se redujo en un 50% debido a que la supervivencia del embrión es menor después del día 27. Es posible que se haya repetido este fenómeno en nuestra investigación ya que T2 y T3 fueron sincronizados, lo cual resulta difícil de determinar debido a que no utilizamos ultrasonido en nuestro estudio. Por lo tanto si T3 fue mayor numéricamente que T2 tanto en la TP como en la producción de P_4 es posible que la suplementación de P_4 si ayude a aumentar la TP al día 40 post-IA. Summers *et al.* (1999) realizaron un estudio en vacas de carne primíparas y multíparas suplementando P_4 (CIDR) entre los días 5 al 14 post-inseminación con el objetivo de incrementar la TP al día 28 de la gestación, esta fue de 25% mas para el grupo tratado en relación al grupo testigo. Los niveles de P_4 fueron de 2.8 y 5.2 ng/ml para el grupo tratado vs 2.4 y 4.4 ng/ml del tratamiento testigo el día 5 y 14 respectivamente, los cuales mostraron ser diferentes, esta diferencia fue atribuida a la suplementación exógena de P_4 .

EXPERIMENTO II

Frecuencia respiratoria (FR) y temperatura rectal (TR)

El cuadro 11 muestra los promedios de FR y TR obtenidos durante cada período del experimento. Se observó que los promedios de FR por período obtenidos durante el experimento fueron mayores ($P<0.05$) para los períodos 1 (92.7 resp/min) y 2 (92.0 resp/min) en comparación al período 3 (79.0 resp/min), debido a que los períodos 1 y 2 presentaron mayores temperaturas que el período 3. Un menor ITH también se observó en el período 3. Correa *et al.* (2002) en un estudio realizado en vacas Holstein expuestas a estrés por calor (ITH=87 U) pero con sistema de enfriamiento a base aspersores y abanicos reportaron 72 resp/min tan solo 7 resp/min menos que lo mostrado en el período 3 de este trabajo. Los resultados de nuestro período 3 fue 18% mas alto que lo reportado por Wise *et al.* (1988b) en vacas Holstein con un ITH de 77.1 U y bajo un sistema similar de enfriamiento. Otros autores reportan bajo condiciones muy similares (ITH=76.9 U) en vacas Holstein 13% menos resp/min que el período 3 de este experimento (Avendaño *et al.*, 2006). Thompson (1984) señala que una vaca con 80 resp/min, se considera en condición de estrés por calor; por su parte, Hahn (1997) indica que cuando la tasa respiratoria excede las 120 resp/min, el animal está sujeto a una excesiva carga de calor. En base a lo anterior podemos señalar que durante los 2 primeros períodos del experimento los animales tuvieron una carga de calor por arriba de lo normal (Armstrong,

1994), aunque el período 3 estuvo al límite para indicar EC de moderado a severo.

La TR promedio en los períodos 1 (39.3°C) y 2 (39.2°C) fueron similares ($P>0.05$), sin embargo, al compararlos con el período 3 (38.9°C) fueron mayores ($P<0.05$). Lo anterior pudo haber sido debido a las mismas razones señaladas en la discusión de FR. Wolfenson *et al.* (1988b) reportaron en vacas Israelí-Holstein 38.8 °C de temperatura rectal muy similar a lo reportado en nuestro período 3, estos animales estuvieron enfriados con aspersores y abanicos durante el verano en Kvutzat Yavne, Israel con una temperatura ambiental promedio de 30 °C. Otro estudio que se condujo durante el verano de 1995 a un un ITH máximo de 78 unidades en Beit Dagan, Israel con vacas Holstein obtuvieron 0.2 °C menos que lo que reportamos en este estudio cuando fueron enfriadas bajo un sistema de enfriamiento similar al nuestro. Avendaño *et al.* (2006) realizaron dos experimentos con vacas Holstein en la misma región en la cual se llevo acabo nuestra investigación, el primero se realizó durante el verano (ITH = 79 U) del año 2000 y el segundo en tres veranos (ITH = 79 U) consecutivos del año 2001 al 2003 obteniendo promedios de 39.8 y 39.1 °C en las temperaturas rectales respectivamente. En el caso del primer experimento estuvo 0.5 °C por arriba de lo reportado en el período 1 de nuestro experimento, sin embargo, el experimento 2 fue parecido a lo obtenido en el período 2 de este trabajo.

Tasa de Preñez (TP), Días a Primer Servicio (DPS) y Días a Preñez (DP)

El cuadro 12 muestra los resultados de la TP, DPS y los DP correspondientes a cada tratamiento durante el experimento. La TP en T1 (65.2%) fue mayor ($P < 0.05$) que el observado en T2 (33.3%), sin embargo, cuando se comparo T3 (59.1%) con los tratamientos 1 y 2 fueron similares ($P > 0.05$). Se ha demostrado que cuando vacas Holstein en lactación son suplementadas con progesterona durante el verano no mejoran la TP (Wolfenson *et al.*, 1994). En contraste cuando se realiza este mismo tratamiento en vacas sin EC se logra mejorar la TP (Robinson *et al.*, 1989; Sianangama y Rajamahendran, 1992). En un estudio realizado por Walton *et al.* (1990) bajo condiciones termoneutrales en vacas Holstein suplementadas con P_4 obtuvieron una TP 4% arriba que lo obtenido en nuestro T3. Summers *et al.* (1999) realizaron un trabajo bajo condiciones termoneutrales en vacas Holstein suplementadas con P_4 obteniendo una TP 17% menos que lo reportado en nuestro tratamiento 3. Esto puede ser comparable con nuestro trabajo, ya que es posible que el efecto que tuvo el enfriamiento en nuestras vaquillas haya producido un alivio del calor en el organismo y este a su vez se reflejara en una mejor TP. El resultado de T3 de nuestro experimento es superior (69%) que lo reportado por Van Cleeff *et al.* (1996) en el verano de 1988 en Florida con vaquillas Holstein suplementadas con P_4 (CIDR) en los días 1-8 post-inseminación. Van Cleeff *et al.* (1991) realizaron un estudio en los meses de Mayo a Julio de 1990 en Florida el cual suplementaron P_4 (CIDR) en vaquillas Holstein los días 7-12 post-inseminación, reportando una TP de 58.2% en el

grupo suplementado el cual fue similar al grupo testigo (54.2%). Es posible que los efectos exógenos de P_4 sean más favorables para aquellos animales los cuales presentan menor fertilidad por lactancias exhaustivas, por secuelas de enfermedades o por efecto de preñeses pasadas, sobre todo en vacas multíparas, sin embargo, estos efectos son menores para vaquillas normalmente fértiles (Folman *et al.*, 1990). Por otro lado Robinson *et al.* (1989) al suplementar vacas Holstein con P_4 (CIDR) entre los días 5-12 post-IA obtuvieron una TP apenas 2.0% por arriba de lo reportado en nuestro tratamiento 3 durante el verano. Mann y Lamming (1999) indican que si la TP es baja en el ganado lechero (<50%) al suplementar con P_4 (CIDR) esta logra mejorarse (19%), mientras que si la TP es alta (>50%) la suplementación no ofrece mayores ventajas. La baja TP mostrada en T2 de esta investigación puede estar asociada a cuerpos lúteos poco funcionales en nuestras vaquillas (Wiebold, 1998), es posible que esto mismo haya sucedido en T3, sin embargo, la suplementación de P_4 ayudó incrementar 44% la TP sobre lo alcanzado en T2. Se ha sugerido que el incremento en la concentración de P_4 en vacas estresadas por calor puede ocurrir después del día 7, mientras que el daño al embrión ocurre a partir del estro (previo a la IA) y hasta los primeros 7 de gestación (Putney *et al.*, 1988; Ealy *et al.*, 1993). Por otra parte los tratamientos 2 y 3 pudieron haber presentado niveles bajos de P_4 durante el ciclo estral previo a la IA, afectando la producción de LH y FSH asimismo el mantenimiento del folículo dominante dando como resultado una tasa de concepción baja después de la inseminación (Santos *et al.*, 2001; Mihm *et al.*, 1994). La elevada temperatura rectal que se

registró en las vaquillas durante el experimento pudo haber afectado también la TP ya que para reducir la temperatura corporal del animal es necesaria la sudoración y el jadeo, quedando limitada la irrigación del útero por la redistribución de la sangre a otros órganos (Elvinger *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1991; McGuire *et al.*, 1989; Richards, 1985), por esta razón la tasa metabólica del embrión se incrementa alterando la disponibilidad de nutrientes así como su crecimiento y desarrollo (Biggers *et al.*, 1987) resultando en muerte embrionaria y con ello la interrupción de la gestación.

Aunque los tratamientos 1 (94.7%), 2 (81.8%) y 3 (84.2%) mostraron estar ciclando de manera regular antes de iniciado el experimento, no fue posible determinar el porcentaje de vaquillas que ovularon el día de la inseminación, lo cual también pudo ser motivo de baja TP. Pancarci *et al.* (2002) en un estudio realizado de forma simultanea en Florida y Texas con vacas primíparas raza Holstein durante los meses de Febrero a Junio del año 2000, obtuvieron una TP con sincronización a tiempo fijo de 43.5 y 40.6% en Florida y Texas respectivamente, 26 y 67% por debajo de lo mostrado en nuestro T3, estos valores bajos fueron atribuidos a que las vaquillas presentaron asincronía en la ovulación el día de la IATF. Por su parte Wolfenson *et al.* (1988a) observaron en vacas Holstein enfriadas de forma similar a la nuestra (ITH=82 U) una TP menor (26%) que lo reportado en nuestro T3 de acuerdo a lo obtenido durante dos veranos consecutivos lo cual puede deberse a que las condiciones ambientales son completamente distintas en cada región, donde intervienen factores como la humedad, velocidad del aire, la misma temperatura ambiental etc. Otro estudio

realizado por Her *et al.* (1988) con vacas Israelí-Holstein sometidas a un sistema de enfriamiento con aspersores y abanicos durante el verano las cuales estuvieron bajo sincronización e inseminación artificial tiempo fijo (CIDR) obtuvieron TP 31% con un ITH de 87 U, lo cual fue atribuido a que las vacas no ovularon el día de la inseminación, este resultado es muy parecido al resultado de T2 de nuestro análisis.

Los tratamientos 2 y 3 (10 d) provocaron una disminución promedio del 38% ($P < 0.05$) sobre los DPS con respecto al tratamiento testigo (celo natural), el cual se observa que existe una mayor eficiencia en la reducción de DPS al utilizar la sincronización del estro.

En los DP los tratamientos 2 (50 d) y 3 (26 d) son diferentes ($P < 0.05$) pero T1 (42 d) es similar ($P > 0.05$) a ambos. Esta disminución en los días puede ser atribuible a la suplementación de P_4 . Ya que al incrementar los niveles de esta hormona pudo mejorar las condiciones necesarias para seguir el curso de la gestación e incrementar.

Concentración de Triiodotironina (T_3)

El cuadro 13 muestra los promedios de T_3 obtenidos en el presente estudio. En el período 1 los promedios derivados de los tratamientos no presentaron variación ($P > 0.05$) entre sí. En lo que respecta al período 2, cuando consideramos los 3 días de análisis sanguíneo existe una diferencia ($P < 0.05$), debido a que es mayor T1 (3.4 ng/ml) que T2 (2.2 ng/ml) ambos similares a T3

(2.7 ng/ml). El promedio por tratamiento obtenido en el período 3 no indica diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos. Se observa que el promedio general por tratamiento es mayor ($P<0.05$) en T1 (2.8 ng/ml) y T3 (2.8 ng/ml) cuando se compararon con T2 (2.3 ng/ml). No diferencias ($P>0.05$) fueron observadas entre T1 y T3. En términos generales, lo anterior se debe a que T2 fue el más afectado por el EC, esto queda demostrado con los promedios obtenidos en T1, T2 y T3 de FR (88.1, 85.7 y 89.9 resp/min respectivamente) y TR (39.1, 39.2 y 39.1 °C respectivamente), los cuales resultaron ser iguales ($P>0.05$), no obstante, si tomamos en cuenta la interacción entre estas dos variables, T2 es mayor en relación a los tratamientos 1 y 3. Hurley *et al.* (1981) observaron en cámara ambiental 1.4 ng/ml en vaquillas Holstein bajo condiciones termoneutrales. Mader y Kreikemeier (2006) por su parte en Nebraska encontraron durante el invierno niveles de 1.4 ng/ml en vaquillas Angus. Por otra parte Thrift *et al.* (1999a) cuando indujeron hipertiroidismo en vaquillas Brahman bajo condiciones termoneutrales administrando 2 ml de T_3 diariamente (0.5 mg/ml) obtuvieron un promedio de 2.1 ng/ml.

Los valores reportados en nuestro experimento son ligeramente altos en relación a lo reportado por diversos autores (Thrift *et al.*, 1999ab; Hurley *et al.*, 1981; De Moraes *et al.*, 1998; Refsal *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 1991), sin embargo, es importante considerar que las condiciones de manejo en cada lugar son distintas, por lo que en el caso de nuestras vaquillas estuvieron sometidas a un riguroso programa de crecimiento acelerado, debido a ello es posible que los animales hayan mantenido su metabolismo alto por la manipulación

principalmente la dieta así como aspectos reproductivos de tipo hormonal para la inseminación temprana. Silanikove (2000) indica que las concentraciones bajas de las hormonas tiroideas no son necesariamente consecuencia de una disminución en el consumo de alimento, si no que también tiene que ver con diversos procesos complejos de tipo neuroendocrino, el cual se relaciona con las interacciones secuenciales entre termorreceptores, hipotálamo, adenohipófisis y tiroides.

Concentración de Tiroxina (T_4)

Las concentraciones de T_4 se muestran en el cuadro 14. En el período 1 el promedio obtenido en T1 (91.4 ng/ml) presentó variación ($P < 0.05$) cuando se comparó con T2 (75.7 ng/ml), en tanto que T3 (87.3 ng/ml) es similar ($P > 0.05$) a ambos tratamientos. Esto mismo sucedió en el período 2 ya que al comparar T1 (89.7 ng/ml) con T2 (75.4 ng/ml) resultaron ser diferentes ($P < 0.05$), no fue así en T3 (80.7 ng/ml) por que fue similar ($P > 0.05$) cuando se comparó con ambos tratamientos. Todo el período tres no presento variación ($P > 0.05$) en T1, T2 y T3. En lo que respecta al promedio general por tratamiento existen diferencias ($P < 0.05$) entre T1 (84.3 ng/ml) y T2 (72.3 ng/ml) así como T2 es diferente de T3 (80.4 ng/ml). No diferencias ($P > 0.05$) fueron observadas entre T1 y T3. Esto coincide con lo reportado por Biggers *et al.* (1987) quienes encontraron niveles bajos de T_4 . Por otra parte, cuanto mas caliente sea el ambiente mayor será el estímulo en la disminución de la secreción de la tiroides que un ambiente de características cada vez más frías. El comportamiento en la concentración de T_4

observada en los 3 períodos sugiere que las vaquillas presentaron EC acumulado, sin embargo, este efecto es difícil determinarlo debido al limitado tiempo en la disposición de los animales, ya que tuvieron que ser distribuidos en 3 períodos y no en un solo período experimental. Por lo tanto, es necesario seguir investigando para saber el comportamiento de T_4 en vaquillas expuestas a estrés por calor en esta región, por lo que es necesario tomar en cuenta que los resultados pueden variar debido a que el comportamiento ambiental suele cambiar año con año. Hurley *et al.* (1981) obtuvieron 12% menos T_4 que lo reportado en el promedio general de nuestro tratamiento 3, en vaquillas Holstein en condiciones termoneutrales. El promedio total en T3 fue 18% mayor que lo reportado por Mader y Kreikemeier (2006) en un estudio que se condujo en Nebraska durante el invierno con vaquillas Angus.

Concentración de Progesterona (P_4)

El cuadro 15 muestra los promedios de P_4 obtenidos en los 3 períodos experimentales. En el promedio general considerando los tres períodos de tratamiento T3 (4.3 ng/ml) resultó mayor ($P<0.05$) que T2 (3.3 ng/ml), sin embargo, cuando se comparó T1 (4.1 ng/ml) con T2 y T3 no tuvo efecto de variación ($P>0.05$). En un estudio realizado por Walton *et al.* (1990) reportaron un 22% más de P_4 plasmática para vacas Holstein que pertenecían a un grupo testigo en comparación con vacas suplementadas con P_4 (4.7 ng/ml), 8% más que lo que reportamos en T3 de nuestro estudio. Por lo tanto es posible que estas diferencias de P_4 plasmática pudieran ser suficientes para incrementar la

TP como se observó en T1 (65.2%) y T3 (59.1%) en relación a T2 (33.3%). Es probable que el CL de nuestro grupo testigo sea lo suficientemente funcional para mantener una concentración alta durante la gestación ya que se obtuvo a partir de un celo natural, en comparación a los CL de T2 y T3 que se obtuvieron a partir de la sincronización de la ovulación y que son menos funcionales. Cartmill *et al.* (2001) realizaron un estudio donde evaluaron la tasa preñez al día 27 post-IA en vacas Holstein en lactación bajo EC y sincronizadas con Ovsynch, encontrando un 33.3% lo cual es similar a lo obtenido en T2 de este estudio, sin embargo, al evaluar la TP alrededor del día 40 mediante palpación esta se redujo en un 50% debido a que la supervivencia del embrión es menor después del día 27. Es posible que se haya repetido este fenómeno en nuestra investigación ya que T2 y T3 fueron sincronizados lo cual resulta difícil de determinar debido a que no utilizamos ultrasonido en nuestro experimento. Por lo tanto si T3 fue mayor ($P < 0.05$) que T2 tanto en la TP como en la producción de P_4 es posible que la suplementación de P_4 si ayude a aumentar la TP al día 40 post-IA. Summers *et al.* (1999) realizaron un estudio en vacas de carne primíparas y multíparas suplementando P_4 (CIDR) entre los días 5 al 14 post-inseminación con el objetivo de incrementar la TP al día 28 de la gestación, esta fue de 25% mas para el grupo tratado en relación al grupo testigo. Los niveles de P_4 fueron de 2.8 y 5.2 ng/ml para el grupo tratado vs 2.4 y 4.4 ng/ml del tratamiento testigo el día 5 y 14 respectivamente, los cuales mostraron ser diferentes, esta diferencia fue atribuida a la suplementación exógena de P_4 .

Cuadro 1. Ingredientes de la dieta

Ingredientes de la ración	Porcentaje
Sorgo	20
Bermuda	11
Alfalfa en greña revuelta con paja de cebada	16
Alfalfa achicalada	16
Sudan	12
Gluten de maíz	8
Semilla de algodón	5
Melaza	10
Premix-Vaquilla	2

Cuadro 2. Composición química de la dieta

Materia seca	83.34
Humedad	16.66
Proteína cruda	9.25
Extracto etéreo	4.52
Cenizas	11.19
FDN	47.37

Cuadro 3. Temperatura Ambiental (°C) durante el período experimental. Experimento I y II.

SEMANA	DIA^a	NOCHE^b	MÁXIMO	MÍNIMO
PERÍODO 1				
1	38.3	34.8	42.7	29.9
2	38.7	35.2	42.7	30.3
3	39.5	36.6	44.5	31.2
4	42.0	38.4	46.3	33.4
5	36.2	32.8	39.9	30.4
PROMEDIO	38.9	35.6	43.2	31.1
PERÍODO 2				
6	36.1	32.3	40.5	27.4
7	38.0	34.5	42.6	30.3
8	37.8	33.9	42.5	28.9
9	38.4	34.5	43.3	29.7
10	38.1	33.9	43.1	28.8
PROMEDIO	37.7	33.8	42.4	29.0
PERÍODO 3				
11	37.3	34.3	41.0	30.1
12	35.0	32.0	39.2	28.1
13	33.8	29.6	38.2	25.4
14	31.6	27.0	36.2	21.9
15	35.7	31.0	40.9	25.5
PROMEDIO	34.7	30.8	39.1	26.2
PROMEDIO GENERAL	36.6	33.0	41.1	28.4

^aA partir de 0600 A 1700 h

^bA partir de 1800 A 0500 h

Cuadro 4. Humedad Relativa (%) durante el período experimental. Experimento I y II.

SEMANA	DIA^a	NOCHE^b	MÁXIMO	MÍNIMO
PERÍODO 1				
1	31.5	35.7	61.0	18.2
2	33.1	36.7	58.4	20.5
3	31.2	32.7	62.9	17.1
4	28.1	31.1	48.9	17.0
5	42.8	49.7	64.8	29.4
PROMEDIO	33.8	37.5	58.8	21.0
PERÍODO 2				
6	30.7	38.5	57.9	17.5
7	35.8	44.2	66.7	20.7
8	25.6	33.2	48.4	14.9
9	30.5	36.3	58.1	15.7
10	35.8	43.9	65.3	19.3
PROMEDIO	31.7	39.2	59.3	17.6
PERÍODO 3				
11	34.6	39.4	57.1	25.1
12	44.4	53.9	76.5	26.5
13	22.5	24.8	43.0	12.4
14	17.9	21.2	33.1	11.5
15	17.9	23.6	34.0	11.5
PROMEDIO	27.5	32.6	48.7	17.4
PROMEDIO GENERAL	30.3	35.7	54.6	18.3

^aA partir de 0600 A 1700 h

^bA partir de 1800 A 0500 h

Cuadro 5. Índice de Temperatura Humedad (ITH) durante el período experimental. Experimento I y II.

SEMANA	DIA^a	NOCHE^b	MÁXIMO	MÍNIMO
PERÍODO 1				
1	84.4	81.4	87.0	78.8
2	85.1	82.0	87.5	79.2
3	85.6	83.0	88.4	78.3
4	87.7	84.6	90.6	81.0
5	84.6	81.9	87.7	79.7
PROMEDIO	85.5	82.6	88.2	79.4
PERÍODO 2				
6	81.8	79.0	84.4	75.5
7	85.0	82.9	87.3	79.9
8	82.4	79.9	85.2	76.3
9	84.2	81.3	86.6	78.1
10	84.9	81.7	87.2	78.2
PROMEDIO	83.6	81.0	86.1	77.6
PERÍODO 3				
11	84.1	81.7	86.3	78.6
12	83.2	81.3	85.1	78.7
13	77.7	74.1	80.5	70.6
14	74.7	70.7	78.3	66.3
15	78.1	75.2	82.6	70.7
PROMEDIO	79.7	76.6	82.6	73.0
PROMEDIO GENERAL	82.8	80.0	85.6	76.5

^aA partir de 0600 A 1700 h

^bA partir de 1800 A 0500 h

Cuadro 6. Efecto del período sobre la Frecuencia Respiratoria (FR) y Temperatura Rectal (TR). Experimento I.

Período	FR (resp/min)	TR (°C)
1	104.6 ± 4.0 ^a	39.7 ± 0.1 ^a
2	101.0 ± 3.6 ^a	39.2 ± 0.1 ^b
3	89.1 ± 3.6 ^b	39.1 ± 0.1 ^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma columna indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos sobre la tasa de preñez (TP) a primer servicio, días a primer servicio (DPS) y días a preñez (DP). Experimento I.

Tratamientos	TP	DPS	DP
1	(10/25) 40.0 ^a	22.0 ^a	47.0 ^a
2	(9/26) 34.6 ^a	10.0 ^b	40.0 ^a
3	(8/18) 44.4 ^a	10.0 ^b	33.0 ^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma columna indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 8. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de triiodotironina (T₃) en vaquillas Holstein. Experimento I.

Período	T ₃ (ng/ml)		
	T1	T2	T3
1	2.9 ± 0.2 ^a	2.1 ± 0.3 ^b	2.5 ± 0.4 ^{ab}
2	3.5 ± 0.3 ^a	2.5 ± 0.3 ^b	2.5 ± 0.3 ^b
3	2.2 ± 0.3 ^a	2.5 ± 0.2 ^a	2.7 ± 0.2 ^a
Promedio general	2.9 ± 0.2^a	2.3 ± 0.1^b	2.6 ± 0.2^{ab}

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 9. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de tiroxina (T_4) en vaquillas Holstein. Experimento I.

Período	T_4 (ng/ml)		
	T1	T2	T3
1	91.5 ± 7.0 ^a	92.6 ± 6.8 ^a	82.7 ± 11.0 ^a
2	88.4 ± 7.3 ^a	79.5 ± 7.0 ^a	79.0 ± 7.3 ^a
3	53.9 ± 8.2 ^a	79.9 ± 6.0 ^b	69.5 ± 6.8 ^{ab}
Promedio general	77.9 ± 4.3^a	84.0 ± 3.8^a	77.0 ± 4.9^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 10. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de progesterona (P₄) en vaquillas Holstein. Experimento I.

Período	día	P ₄ (ng/ml)		
		T1	T2	T3
1	5	4.1 ± 1.0 ^a	2.4 ± 1.0 ^a	2.9 ± 1.6 ^a
	9	5.0 ± 1.2 ^a	3.4 ± 1.1 ^a	3.4 ± 1.6 ^a
	14	4.6 ± 1.1 ^a	4.0 1.0 ^{ab}	0.7 ± 1.6 ^b
	Promedio	4.6 ± 0.6^a	3.3 ± 0.6^{ab}	2.3 ± 0.9^b
2	5	5.8 ± 1.4 ^a	9.7 ± 1.6 ^{ab}	10.8 ± 1.4 ^b
	9	3.0 ± 1.0 ^a	2.0 ± 1.0 ^a	3.4 ± 1.1 ^a
	14	8.3 ± 1.0 ^a	4.6 ± 1.1 ^b	4.7 ± 1.1 ^b
	Promedio	5.7 ± 0.7^a	5.5 ± 0.7^a	6.3 ± 0.7^a
3	5	1.9 ± 1.3 ^a	0.9 ± 1.0 ^a	2.6 ± 1.0 ^a
	9	1.5 ± 1.3 ^a	2.2 ± 1.0 ^a	3.1 ± 1.1 ^a
	14	5.1 ± 1.2 ^a	2.7 ± 1.0 ^a	3.9 ± 1.1 ^a
	Promedio	2.9 ± 0.7^a	1.9 ± 0.6^a	3.2 ± 0.6^a
Promedio general		4.4 ± 0.4^a	3.6 ± 0.4^a	3.9 ± 0.4^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 11. Efecto del período sobre la Frecuencia Respiratoria (FR) y Temperatura Rectal (TR). Experimento II.

Período	FR (resp/min)	TR (°C)
1	92.7 ± 1.8 ^a	39.3 ± 0.06 ^a
2	92.0 ± 1.7 ^a	39.2 ± 0.05 ^a
3	79.0 ± 1.7 ^b	38.9 ± 0.05 ^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma columna indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 12. Efecto de los tratamientos sobre la tasa de preñez (TP) a primer servicio, días a primer servicio (DPS) y días a preñez (DP). Experimento II.

Tratamientos	TP	DPS	DP
1	(15/23) 65.2 ^a	16.0 ^a	42.0 ^{ab}
2	(8/24) 33.3 ^b	10.0 ^b	50.0 ^a
3	(13/22) 59.1 ^{ab}	10.0 ^b	26.0 ^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma columna indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 13. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de triiodotironina (T_3) en vaquillas Holstein. Experimento II.

Período	T_3 (ng/ml)		
	T1	T2	T3
1	2.3 ± 0.3^a	2.2 ± 0.2^a	2.9 ± 0.3^a
2	3.4 ± 0.3^a	2.2 ± 0.2^b	2.7 ± 0.3^{ab}
3	2.7 ± 0.3^a	2.4 ± 0.2^a	2.8 ± 0.2^a
Promedio general	2.8 ± 0.2^a	2.3 ± 0.1^b	2.8 ± 0.1^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 14. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de tiroxina (T_4) en vaquillas Holstein. Experimento II.

Período	T_4 (ng/ml)		
	T1	T2	T3
1	91.4 ± 4.9 ^a	75.7 ± 4.5 ^b	87.3 ± 5.2 ^{ab}
2	89.7 ± 5.6 ^a	75.4 ± 4.6 ^b	80.7 ± 5.2 ^{ab}
3	71.9 ± 6.0 ^a	65.7 ± 4.6 ^a	73.1 ± 4.3 ^a
Promedio general	84.3 ± 3.2^a	72.3 ± 2.6^b	80.4 ± 2.8^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 15. Efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de progesterona (P₄) en vaquillas Holstein. Experimento II.

Período	día	P ₄ (ng/ml)		
		T1	T2	T3
1	5	3.2 ± 1.0 ^a	3.6 ± 1.0 ^a	4.5 ± 1.1 ^a
	9	4.2 ± 1.1 ^a	4.7 ± 1.0 ^a	5.0 ± 1.1 ^a
	14	4.6 ± 1.1 ^a	3.7 ± 1.0 ^a	5.1 ± 1.1 ^a
	Promedio	4.0 ± 0.6^a	4.0 ± 0.6^a	4.9 ± 0.6^a
2	5	9.5 ± 1.6 ^a	6.0 ± 1.0 ^a	6.8 ± 1.2 ^a
	9	3.6 ± 1.1 ^{ab}	1.6 ± 1.0 ^a	5.1 ± 1.1 ^b
	14	5.7 ± 1.2 ^a	3.1 ± 1.0 ^a	2.7 ± 1.1 ^a
	Promedio	6.3 ± 0.8^a	3.6 ± 0.6^b	4.9 ± 0.7^{ab}
3	5	1.1 ± 1.6 ^a	1.3 ± 1.0 ^a	2.1 ± 1.0 ^a
	9	2.4 ± 1.6 ^a	2.2 ± 1.0 ^a	3.5 ± 0.9 ^a
	14	2.7 ± 1.1 ^a	3.8 ± 1.0 ^a	3.9 ± 0.9 ^a
	Promedio	2.1 ± 0.8^a	2.4 ± 0.6^a	3.2 ± 0.5^a
Promedio general		4.1 ± 0.4^{ab}	3.3 ± 0.3^a	4.3 ± 0.3^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

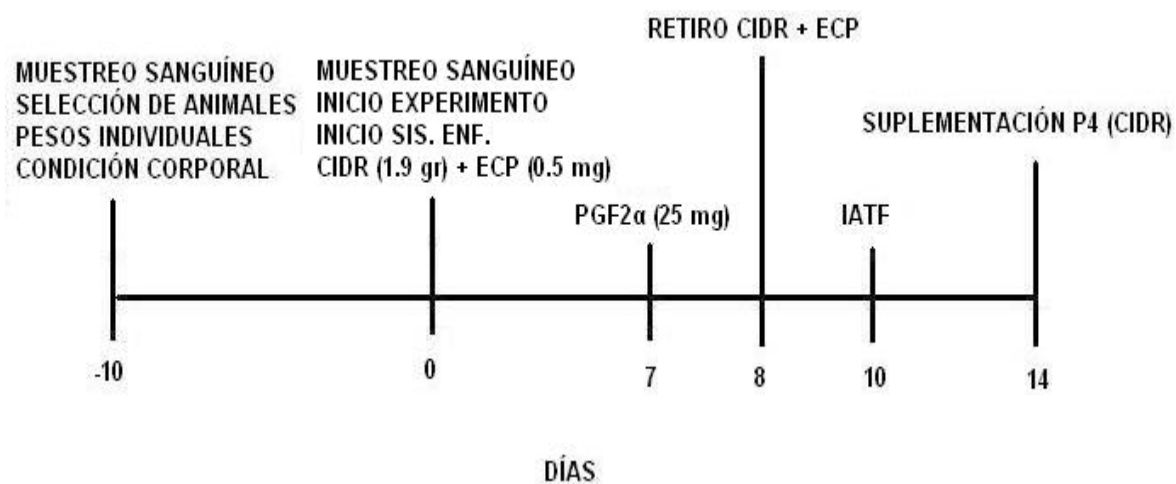


Figura 1. Programa de sincronización e inseminación a tiempo fijo.

CONCLUSIÓN

Experimento I: La suplementación de progesterona post-IA en vaquillas Holstein durante el verano no mejoró la tasa de preñez, tampoco incrementó los niveles de progesterona plasmática ni redujo los días a preñez. El protocolo de inseminación a tiempo fijo ofrece una ventaja al reducir los días a primer servicio en vaquillas Holstein porque ayuda a tener un mayor control en el manejo reproductivo del hato en comparación con animales con detección del estro de manera natural. Las respuestas fisiológicas: frecuencia respiratoria, temperatura rectal así como la concentración plasmática de triiodotironina y tiroxina permiten suponer que los animales estuvieron estresados por calor de manera constante.

En el experimento II: La suplementación de progesterona post-IA en vaquillas Holstein durante el verano no mejoró la tasa de preñez pero si ayudó a incrementar los niveles de progesterona plasmática y a reducir los días a preñez en comparación con el grupo solo sincronizado. El protocolo de inseminación a tiempo fijo ofrece una ventaja al reducir los días a primer servicio en vaquillas Holstein porque ayuda a tener un mayor control en el manejo reproductivo del hato en comparación con animales con detección del estro de manera natural. Las respuestas fisiológicas: frecuencia respiratoria, temperatura rectal así como la concentración plasmática de triiodotironina y tiroxina permiten suponer que los animales estuvieron estresados por calor de manera constante. La suplementación de progesterona en programas de IATF puede ser una herramienta útil durante el verano, si a la vaquilla se le proporciona enfriamiento artificial.

LITERATURA CITADA

Abilay, T. A., H. D. Johnson, and M. Madan. 1975. Influence of environmental heat on peripheral plasma progesterone and cortisol during the bovine estrous cycle. *J. Dairy Sci.* 58:1836-1840.

Albrightt, J. L., and C. W. Alliston. 1971. Effects of varying the environment upon the performance of dairy cattle. *J. Anim Sci.* 32:566-577.

Al-Katanani, Y. M., F. F. Paula Lopes, and P. J. Hansen. 2002. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 85:390-396.

Ambrose, J. D., J. P. Kastelic, R. Rajamahendran, M. Aali, and N. Dinn. 2005. Progesterone (CIDR)-based timed IA protocols using GnRh, porcine LH or estradiol cypionate for dairy heifers: Ovarian and endocrine responses and pregnancy rates. *Theriogenology* 64:1457-1474.

Anderson, R. R. 1971. Secretion rates of thyroxine and triiodothyronine in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 54:1195-1199.

Appleman, R. D., and J. C. Delouche. 1958. Behavioral, physiological and biochemical responses of goats to temperature, 0°C to 40°C. *J. Anim. Sci.* 17:326-332.

Avendaño-Reyes, L., F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, J. S. Saucedo-Quintero, P. H. Robinson, and J. G. Fadel. 2006. Effect of

- cooling Holstein cows during the dry period on postpartum performance under heat stress conditions. *Livest. Sci.* 105:198-206.
- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044-2050.
- Arechiga, C. F., C. R. Staples, L. R. McDowell, and P. J. Hansen. 1998a. Effects of timed insemination and supplemental beta-carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J. Dairy Sci.* 81:390–402.
- Ayalon, N. 1978. A review of embryonic mortality in cattle. *J. Reprod. Fertil.* 54:483-493.
- Badinga, L., W. W. Thatcher, T. Diaz, M. Drost, and D. Wolfenson. 1993. Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology* 39:797–810.
- Badinga, L., W. W. Thatcher, C.J. Wilcox, G. Morris, K. Entwistle, and D. Wolfenson. 1994. Effect of season on follicular dynamics and plasma concentrations of oestradiol-17b, progesterone and luteinizing hormone in lactating Holstein cows. *Theriogenology* 42:1263–1274.
- Becker, B. A., J. A. Nienaber, R. K. Christenson, R. C. Manak, J. A. DeShazer, and G. L. Hahn. 1985. Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. *Am. J. Vet. Res.* 46(5):1034-1038.

- Benjamin, M. M. 1981. Fluid and electrolytes. In outline of veterinary clinical pathology. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Berman, A., and D. Wolfenson. 1992. Environmental modifications to improve production and fertility. In: Van Horn, H. H., Wilcox, C. J._Eds., Large Dairy Herd Management. American Dairy Science Association, Champaign, IL, pp. 126–134.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, and Y. Graber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. J. Dairy Sci. 68:1488-1495.
- Biggers, B. G., R. D. Geisert, R. P. Wetteman, and D. S. Buchanan 1987. Effect of heat stress on early embryonic development in the beef cow. J. Anim. Sci. 64:1512-1518.
- Blair-West, J. R., A. H. Brook, A. Gibson, M. Morris, and P. T. Pullan. 1979. Renin, antidiuretic hormone and the kidney in water restriction and rehydration. J. Physiol. 294:181-184.
- Bligh, J., and K. G. Johnson. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. J. Appl. Physiol. 35:941-945.
- Bó, G. A., D. Baruselli, L. Moreno, M. Cutaia, R. Caccia, R. Tribulo, H. Tribulo, and R. J. Maplatoft. 2002. The control of follicular wave development for

- self appointed embryo transfer programs in cattle. *Theriogenology* 57:52-72.
- Breuel, K. F., J. C. Spitzer, C. E. Thompson, and J. F. Breuel. 1990. First-service pregnancy rate in beef heifers as influenced by human chorionic gonadotropin administration before and/or after breeding. *Theriogenology* 34:139–145.
- Breuel, K. F., P. E. Lewis, F. N. Schrick, A. W. Lishman, E. K. Inskeep, and R. L. Butcher. 1993. Factors affecting fertility in the postpartum cow: role of the oocyte and follicle in conception rate. *Biol. Reprod.* 48:655-661.
- Brown, D. E., and P. C. Harrison. 1981. Central sympathetic control of uterine blood flow during acute heat stress. *J. Anim. Sci.* 52:1114-1121.
- Butterworth, M. H. 1987. Wild and domestic ungulates. In H. D. Johnson (Ed.). *Bioclimatology and adaptation of livestock*. Elsevier, Amsterdam pp. 127-132.
- Bucklin, R. A., L. W. Turner, D. K. Beede, D. R. Bray, and R. W. Hemken. 1991. Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.* 7:241–247.
- Burden, V. R., B. D. White, R. G. Dean, and R. J. Martin. 1993. Activity of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis is elevated in rats with activity-based anorexia. *J. Nutr.* 123:1217-1221.

- Capuco, A. V., D. L. Wood, T. H. Elsasser, S. Kahl, and R. A. Erdman. 2001. Effect of somatotropin on thyroid hormones and cytokines in lactating dairy cows during ad libitum and restricted feed intake. *J. Dairy Sci.* 84:2430-2439.
- Cartmill, J. A., S. Z. El-Zarkouny, B. A. Hensey, T. G. Rozell, J. F. Smith, and J. S. Stevenson. 2001. An alternative AI breeding protocol for dairy cows exposed to elevated ambient temperatures before or after calving or both. *J. Dairy Sci.* 84:799-806.
- Chebel, R. C., J. E. P. Santos, J. P. Reynolds, R. L. A. Cerri, S. O. Juchem, and M. Overton. 2004. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 84:239–255.
- CIMIS. 2002. <http://cimis.water.ca.gov/cimserv/Dailyreport>
- Convey, E. M., L. T. Chapin, J. W. Thomas, and K. Leung. 1978. Serum thyrotropin, thyroxine, and tri-iodothyronine in dairy cows fed varying amounts of iodine. *J. Dairy Sci.* 61:771-775.
- Correa, C. A., R. L. Avendaño, V. A. Rubio, D. V. Armstrong, J. F. Smith, and S. K. DeNise. 2002. Effect of a cooling system on productivity of Holstein cows under heat stress. *Agrociencia* 36:531-539.

- Cummins, K. A. 1989. Dietary acid detergent fiber for dairy cows during high environmental temperature. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 1):516.
- Dampney, R. A. L. 1974. Cardiovascular alterations associated with bursts of panting in the exercising dog. *J. Physiol.* 238:17-36.
- De Moraes, G. V., H. R. Vera-Avila, A. W. Lewis, J. W. Koch, D. A. Neuendorff, D. M. Hallford, J. J. Reeves, and R. D. Randel. 1998. Influence of hypo and hyperthyroidism on ovarian function in Brahman cows. *J. Anim. Sci.* 76:871–879.
- Drost, M., J. Ambrose, M. Thatcher, C. Cantrell, K. Wolfsdorf, J. Hasler, and W. Thatcher. 1999. Conception rates after artificial insemination or embryo transfer in lactating dairy cows during summer in Florida. *Theriogenology* 52:1161–1167.
- Du Preez, J. H., S. J. Terblanche, W. H. Giesecke, C. Maree, and M. C. Welding. 1991. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under South African conditions. *Theriogenology* 35:1039-1049.
- Du Preez, J. H., W. H. Giesecke, and P. J. Hattingh. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. I. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort. J. Vet. Res.* 57(1):77-87.

- Ealy, A. D., M. Drost, and J. Hansen. 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.* 76:2889-2905.
- Edwards, J. L., and P. J. Hansen. 1997. Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol. Reprod. Dev.* 46:138–145.
- Elvinger, F., R. P. Natzke, and P. J. Hansen. 1992. Interactions of heat stress and bovine somatotropin affecting physiology and immunology of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 75:449-462.
- El-Zarkouny, S. Z., J. A. Cartmill, B. A. Hensey, and J. S. Stevenson. 2004. Pregnancy in dairy cows after synchronized ovulation regimens with or without presynchronization and progesterone. *J. Dairy Sci.* 87:1024-1037.
- Ferguson, J. O., D. T. Galligan, and N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77:2695-2703.
- Folman, Y., M. Kaim, Z. Herz, and M. Rosenberg. 1990. Comparison of methods for the synchronization of estrous cycles in dairy cows. 2. Effects of progesterone and parity on conception. *J. Dairy Sci.* 73:2817-2825.
- Friend, T. H. 1990. Symposium: Response of animals to stress. Behavioral aspects of stress. *J. Dairy Sci.* 74:292-303.

- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.* 52:164-174.
- Gaughan, J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, M. J. Josey, and K. L. Rowan. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 77:2398-2405.
- Gwazdauskas, F. C. 1985. Effects of climate on reproduction in cattle. *J. Dairy Sci.* 68:1568-1578.
- Gwazdauskas, F. C., W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *J. Dairy Sci.* 56: 873-877.
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77:10-20.
- Hahn, G. L. 1976. Rational environmental planning for efficient livestock production. *Biometeorology* 20(Suppl. 1):106-114.
- Hahn, G. L., Y. R. Chen, J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, and A. M. Parkhurst. 1992. Characterizing animal stress through fractal analysis of thermoregulatory responses. *J. Therm. Biol.* 17:115-121.
- Hahn, G. L., A. M. Parkhurst, and J. B. Gaughan. 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. ASAE Mid-Central Conf. Paper MC97-121. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

- Hansen, P. J., C. F. Arechiga, C. R. Staples, and L. R. McDowell. 1998. Opportunities and perspectives for improving reproduction in heat-stressed, intensively-managed dairy cattle. Ed. Rockhampton, Australia. pp 234-270.
- Hansen, P. J. 1997. Effects of environment of bovine reproduction. In: Youngquist, R.S. _Ed., Current Therapy in Large Animal Theriogenology. W.B. Saunders, Philadelphia, PA, pp. 403–415.
- Hansen, P. J., W. W. Thatcher, and A. D. Ealy. 1992. Methods for reducing effects of heat stress on pregnancy. In: Van Horn, H.H., Wilcox, C.J._Eds., Large Dairy Herd Management. American Dairy Science Association, Champaign, IL, pp. 16–125.
- Hansen, P. J. 2002. Embryonic mortality in cattle from the embryo's perspective. J. Anim. Sci. 80 (E. Suppl. 2):E33–E44.
- Heinrichs, A. J., and W. C. Losinger. 1998. Growth of Holstein dairy heifers in the United States. J. Anim. Sci. 76:1254-1260.
- Her, E., D. Wolfenson, I. Flamenbaum, and Y. Folman. 1988. Thermal, productive, and reproductive responses of high yielding cows exposed to short-term cooling in summer. J. Dairy Sci. 71:1085-1092.

- Howell, J. L., J. W. Fuquay, and A. E. Smith. 1994. Corpus luteum growth and function in lactating Holstein cows during spring and summer. *J. Dairy Sci.* 77:735-739.
- Huber, J. T., 1996. Amelioration of heat stress in dairy cattle. In: Phillips, C.J.C. (Ed)., *Progress in Dairy Science*. CAB Int. Oxon, UK, pp. 211–243.
- Hurley, W. L., E. M. Convey, K. Leung, L. A. Edgerton, and R. W. Hemken. 1981. Bovine prolactin, TSH, T_4 and T_3 concentrations as affected by tall fescue summer toxicosis and temperature. *J. Anim. Sci.* 51:374-379.
- Igono, M. O., G. Bjotvedt, and H. T. Sanford-Crane. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36: 77-87.
- Ingram, D. L., and G. C. Whittow. 1963. Changes of arterial blood pressure and heart rate in the ox (*Bos taurus*) with changes in body temperature. *J. Physiol.* 168:736-746.
- Johnson, H. D. 1980. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic changes. *Int. J. Biometeorol.* 24(Suppl.7):65-78.
- Johnson, H. D., R. Li, W. Manalu, and K. J. Spencer-Johnson. 1991. Effects of somatotropin on milk yield and physiological responses during summer farm and hot laboratory conditions. *J. Dairy Sci.* 74:1250-1262.

- Jonsson, N. N., M. R. McGowan, K. McGuigan, T. M. Davison, A. M. Hussain, and M. Matschoss. 1997. Relationships among calving season, heat load, energy balance and postpartum ovulation of dairy cows in a subtropical environment. *Anim. Reprod. Sci.* 47:315–326.
- Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Supp.):E104-E114.
- Kaim, M., A. Bloch, D. Wolfenson, R. Braw-Tal, M. Rosenberg, H. Voet, and Y. Folman. 2003. Effects of GnRH administered to cows at the onset of estrus on timing of ovulation, endocrine responses, and conception. *J. Dairy Sci.* 86:2012-2021.
- Kahl, S., and J. Bitman. 1983. Relation of plasma thyroxine and triiodothyronine to body weight in growing male and female Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 66:2386-2390.
- Kennedy, P. M., B. A. Young, and R. J. Christopherson. 1977. Studies on the relationship between thyroid function, cold acclimation and retention time of digesta in sheep. *J. Anim. Sci.* 45:1084-1090.
- Lamb, G. C., J. S. Stevenson, D. J. Kesler, H. A. Garverick, D. R. Brown, and B. E. Salfen. 2001. Inclusion of an intravaginal progesterone insert plus GnRH and prostaglandin $F_{2\alpha}$ for ovulation control in postpartum suckled beef cows. *J. Anim. Sci.* 79:2253-2259.

- Lefcourt, M. A., and R. W. Adams. 1996. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *J. Anim. Sci.* 74:2633-2640.
- Macfarlane, W. V., K. Robinson, B. Howard, and R. Kinne. 1958. Heat, salt and hormones in panting and sweating animals. *Nature* 182:672-681.
- McGuire, M. A., D. K. Beede, M. D. DeLorenzo, C. J. Wilcox, G. B. Huntington, C. K. Reynolds, and R. J. Collier. 1989. Effects of thermal stress and level of feed intake on portal plasma flow and net fluxes of metabolites in lactating Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 67:1050-1060.
- Mader, T. L., and W. M. Kreikemeier. 2006. Effects of growth-promoting agents and season on blood metabolites and body temperature in heifers. *J. Anim. Sci.* 84:1030–1037.
- Mal, M. E., T. H. Friend, D. C. Lay, S. G. Vogeslang, and O. C. Jenkins. 1991. Physiological responses of mares to short term confinement and social isolation. *Equine Vet. Sci.* 11:96-101.
- Mann, G. E., and G. E. Lamming 1999. The influence of progesterone during early pregnancy in cattle. *Reprod. Domest. Anim.* 34:269-274.
- Mann, G.E., and G.E. Lamming. 2001. Relationship between maternal endocrine environment, early embryo development and inhibition of the luteolytic mechanism in cows. *Reproduction* 121:175–180.

- Mihm, M., A. Baguisi, M. P. Boland, and J. F. Roche. 1994. Association between the duration of dominance of the ovulatory follicle and pregnancy rate in beef heifers. *J. Reprod. Fertil.* 102:123–130.
- Müller, E. F., and R. Van Aken. 1990. Thermoregulation and evaporative water loss in Spiny mice (*Acomys cahirinus* Desmarest, 1819). *Z. Säugetierkd.* 55:244-252.
- NAS (National Academy of Sciences). 1971. A guide to environmental research on animals. Committee on Physiological Effects of Environmental Factors on Animals. Washington, D.C. USA.
- Niezgoda, J., S. Bobek, D. Wronskafortuna, and E. Wierzchos. 1993. Response of sympatho-adrenal axis and adrenal cortex to short-term restraint stress in sheep. *J.Vet. Med.* 40:631-637.
- Pancarci, S. M., E. R. Jordan, C. A. Risco, M. J. Schouten, F. L. Lopes, F. Moreira, and W. W. Thatcher. 2002. Use of estradiol cypionate in a presynchronized timed artificial insemination program for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85:122-131.
- Pereira, A. M. F., F. Baccari, E. A. L. Titto, and J. A. A. Almeida. 2008. Effect of thermal stress on physiological parameters, feed intake and plasma thyroid hormones concentration in Alentejana, Mertolenga, Frisian and Limousine cattle breeds. *Int. J. Biometeorol.* 52:199–208.

- Phillips, H. H., and D. B. Jennings. 1973. Cardiorespiratory effects of hypothalamic heating in conscious dogs. *Am. J. Physiol.* 225:17-22.
- Poterfield, P. S. 1996. *Endocrine physiology*. Ed. Mosby. United State of America pp. 57.
- Putney, D. J., M. Drost, and W. W. Thatcher. 1988. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between days 1 to 7 post-insemination. *Theriogenology* 30:195-209.
- Refsal, K. R., R. F. Nachreiner, and C. R. Anderson. 1984. Relationship of season, herd, lactation, age, and pregnancy with serum thyroxine and triiodothyronine in Holstein cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 1:225–232.
- Reimers, T. J., J. P. McCann and R. G. Cowan. 1983. Effects of storage times and temperatures on T₃, T₄, LH, prolactin, insulin, cortisol and progesterone concentrations in blood samples from cows. *J. Anim. Sci.* 57:683-691.
- Richards, J. I. 1985. Effect of high daytime temperature on the intake and utilization of water in lactating Friesian cows. *Trop. Anim. Health Prod.* 17:209-217.
- Robinson, N. A., K. E. Leslie, and J. S. Walton. 1989. Effect of treatment with progesterone on pregnancy rate and plasma concentrations of progesterone in Holstein Cows. *J. Dairy Sci.* 72:202-207.

Rocha, A., R. D. Randel, J. R. Broussard, J. M. Lim, R. M. Blair, J. D. Roussel, R. A. Godke, and W. Hansel. 1998. High environmental temperature and humidity decrease oocyte quality in *Bos taurus* but not in *Bos indicus* cows. *Theriogenology* 49:657–665.

SAGARPA 2004. Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentación. Información del estado de Baja California. Ver: <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/bajacalifornia/nuestro.htm>

SAS 2003. SAS/STAT Users Guide, version 9.1, Cary, NC:SAS Institut Inc., USA.

Santos, J. E. P., W. W. Thatcher, R. C. Chebel, R. L. A. Cerri, and K. N. Galvão. 2004a. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83:513-535.

Santos, J. E. P., S. O. Juchem, L. A. Cerri, K. N. Galvão, R. C. Chebel, W.W. Thatcher, C.S. Dei, and C. R. Bilby. 2004b. Effect of bST and reproductive management on reproductive performance of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:868-881.

Santos, J. E. P., W. W. Thatcher, L. Pool, and M. W. Overton. 2001. Effect of human chorionic gonadotropin on luteal function and reproductive performance of high-producing lactating Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 79:2881-2894.

- Sartori, R., R. Sartor-Bergfelt, S. A. Mertens, J. N. Guenther, J. J. Parrish, and M.C. Wiltbank. 2002. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *J. Dairy Sci.* 85:2803–2812.
- Shaham-Albalancy, A., M. Rosenberg, Y. Folman, Y. Graber, R. Meidan, and D. Wolfenson. 2000. Two methods of inducing low plasma progesterone concentrations have different effects on dominant follicles in cows. *J. Dairy Sci.* 83:2771-2778.
- Sianangama, P.C., and R. Rajamahendran. 1992. Effect of human chorionic gonadotropin administered at specific times following breeding on milk progesterone and pregnancy in cows. *Theriogenology* 38:85–96.
- Siegel, H. S. 1995. Stress, strains and resistance. *Brit. Poultry Sci.* 36:3-9.
- Silanikove, N. 1992. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: A review. *Livest. Prod. Sci.* 30:175-194.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67:1–18.
- Spicer, L. J., J. Alonso, and C. S. Chamberlain. 2001. Effects of thyroid hormones on bovine granulosa and thecal cell function in vitro: dependence on insulin and gonadotropins. *J. Dairy Sci.* 84:1069-1076.

- Stevenson, J. S., D. P. Hoffman, D. A. Nichols, R. M. McKee, and C. L. Krehbiel. 1997. Fertility in estrus-cycling and noncycling virgin heifers and suckled beef cows after induced ovulation. *J. Anim. Sci.* 75:1343-1350.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how it is measured?. *J. Anim. Sci.* 52:150-153.
- Summers, R. N., C. A. Peterson, T. F. Lock, C. Pollack, F. A. Ireland, D. B. Faulkner, and D. J. Kesler. 1999. The effect of exogenous progesterone administered intravaginally, via CIDR, on embryo survival in beef cattle. *Anim. Sci. University of Illinois*. Ver: <http://traill.outreach.uiuc.edu/beefnet/>
- Thatcher, W. W., and R. J. Collier. 1986. Effects of climate on bovine reproduction. In: Morrow, D.A. _Ed., *Current Therapy in Theriogenology: Diagnosis, Treatment and Prevention of Reproductive Diseases in Small and Large Animals*. W.B. Saunders, Philadelphia, PA, pp. 301–309.
- Thatcher, W. W., C. R. Staples, G. Danet-Desnoyers, B. Oldick, and E. J. P. Schmitt. 1994. Embryo health and mortality in sheep and cattle. *J. Anim. Sci.* 72:16-30.
- Thatcher, W. W., F. Moreira, J. E. P. Santos, R. C. Mattos, F. L. Lopes, S. M. Pancarcil, and C. A. Risco. 2001. Effects of hormonal treatments on reproductive performance and embryo production. *Theriogenology* 55:75-89.

- Thompson, G. E. 1984. Lactation and the thermal environment. In: Yousef M. K. (Ed.) stress physiology in livestock. Pp 122. CRB Press, Boca Raton, F.L.
- Thrift, T. A, A. W. Bernal, D. A. Lewis, D. A. Neuendorff, C.C. Willard, and R. D. Randel. 1999. Effects of induced hypothyroidism or hyperthyroidism on growth and reproductive performance of Brahman heifers. *J. Anim Sci.* 77: 1833 – 1843.
- Trout, J. P., L. R. McDowell, and P. J. Hansen. 1998. Characteristics of the estrous cycle and antioxidant status of lactating Holstein cows exposed to heat stress. *J. Dairy Sci.* 81:1244–1250.
- Van Cleeff, J., M. Drost, and W. W. Thatcher. 1991. Effects of postinsemination progesterone supplementation on fertility and subsequent estrous response of dairy heifers. *Theriogenology* 36:795–807.
- Van Cleeff, J., K. L. Macmillan, M. Drost, M. C. Lucy, and W. W. Thatcher. 1996. Effects of administering progesterone at selected intervals after insemination of synchronized heifers on pregnancy rates and resynchronization of returns to estrus. *Theriogenology* 46:1117–1130.
- Vanjonack, W. J., and H. D. Johnson. 1975. Effects of moderate heat and milk yield on plasma thyroxine in cattle. *J. Dairy Sci.* 58:507-511.
- Walton, J. S., G. W. Halbert, N. A. Robinson, and K. E. Leslie. 1990. Effects of progesterone and human chorionic gonadotrophin administration five days

postinsemination on plasma and milk concentrations of progesterone and pregnancy rate of normal and repeat breeder dairy cows. *Can. J. Vet. Res.* 54:305-308.

Wiersma, F. 1990. THI for dairy cows. Department of Agricultural Engineer. The University of Arizona. Tucson, AZ.

West, J. W., G. M. Hill, J. M. Fernandez, P. Mandebvu, and B. G. Mullinix. 1999. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. *J. Dairy Sci.* 82:2455–2465.

West, J. W. 2003. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.

Wiebold, J. L. 1988. Embryonic mortality and the uterine environment in first-service lactating dairy cows. *J. Reprod. Fertil.* 84(2):393-402.

Wilks, D. L., C. E. Coppock, J. K. Lanham, K. N. Brooks, C. C. Baker, W. I. Bryson, R. G. Elmore, and R. A. Stermer 1990. Responses of lactating Holstein cows to chilled drinking water in high ambient temperatures. *J. Dairy Sci.* 73:1091-1099.

Wise, M. E., D. V. Armstrong, J. T. Huber, R. Hunter, and F. Wiersma. 1988a. Hormonal alteration in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *J. Dairy Sci.* 71:2480-2485.

- Wise, M. E., D. V. Rodriguez, D. V. Armstrong, J. T. Huber, R. Hunter, and F. Wiersma. 1988b. Fertility and hormonal responses to temporary relief of heat stress in lactating dairy cows. *Theriogenology* 29:1027-1035.
- Wolfenson, D., I. Flamenbaum, and A. Berman. 1988a. 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., I. Flamenbaum, and A. Berman. 1988b. Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:809-818.
- Wolfenson, D., O. Luft, A. Berman, and R. Meidan. 1993. Effects of season, incubation temperature and cell age on progesterone and prostaglandin F_{2a} production in bovine luteal cells. *Anim. Reprod. Sci.* 32:27–40.
- Wolfenson, D., M. Kaim, and M. Rosenberg. 1994. Conception rate of cows supplemented with progesterone post-insemination in the summer. *J. Anim. Sci.* 72:(Suppl. 1)280.
- Wolfenson, D., W. W. Thatcher, L. Bandinga, J. D. Savio, R. Meidan, B. J. Lew, T. R. Braw, and A. Berman. 1995. Effect of heat stress on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. *Biol. Reprod.* 52:1106-1113.

- Wolfenson, D., Z. Roth, and R. Meidan. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Repro. Sci.* 60-61:535-547.
- Younas, M., J. W. Fuquay, A. E. Smith, and A. B. Moore. 1993. Estrous and endocrine responses of lactating Holsteins to forced ventilation during summer. *J. Dairy Sci.* 76:430–436.
- Young, B. A. 1981. Cold stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.* 52:154-163.
- Xu, Z. Z., and L. J. Burton. 1999. Reproductive performance of dairy heifers after estrus synchronization and fixed-time artificial insemination. *J. Dairy Sci.* 82:910-917.
- Zavy, M. T. 1994. Embryonic mortality in cattle. In: Zavy M. T., Geisert R. D. (Eds.), *Embryonic Mortality in Domestic Species*. CRC press, Boca Raton, pp. 99-140.
- Zeron, Y., A. Ocheretny, O. Kedar, A. Borochoy, D. Sklan, and A. Arav. 2001. Seasonal changes in bovine fertility: relation to developmental competence of oocytes, membrane properties and fatty acid composition of follicles. *Reproduction* 121:447–454.

APÉNDICE

Cuadro 1. Efecto del tratamiento sobre la Frecuencia Respiratoria (FR). Experimento I.

Tratamiento	FR (resp/min)		
	P1	P2	P3
1	104.3±6.9 ^a	99.7±6.2 ^a	85.5±6.2 ^b
2	104.7±6.9 ^a	102.2±6.2 ^a	90.1±6.2 ^b
3	104.7±7.2 ^a	101.1±6.2 ^a	91.5±6.3 ^b
Promedio	104.6±4.0^a	101.0±3.6^a	89.1±3.6^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Efecto del período sobre la Frecuencia Respiratoria (FR). Experimento I.

Período	FR (resp/min)		
	T1	T2	T3
1	104.3±6.9 ^a	104.7±6.9 ^a	104.7±7.2 ^a
2	99.7±6.2 ^a	102.2±6.2 ^a	101.1±6.2 ^a
3	85.5±6.2 ^a	90.1±6.2 ^a	91.5±6.3 ^a
Promedio	96.5 ± 3.7^a	99.0 ± 3.7^a	99.1 ± 3.8^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 3. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura Rectal (TR). Experimento I.

Tratamiento	TR		
	P1	P2	P3
1	39.9±0.2 ^a	39.1±0.2 ^b	39.1±0.2 ^b
2	39.8±0.2 ^a	39.4±0.2 ^b	39.1±0.2 ^b
3	39.5±0.2 ^a	39.0±0.2 ^b	39.2±0.2 ^b
Promedio	39.7 ± 0.1^a	39.2 ± 0.1^b	39.1 ± 0.1^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 4. Efecto del período sobre la Temperatura Rectal (TR). Experimento I.

Período	TR		
	T1	T2	T3
1	39.9±0.2 ^a	39.8±0.2 ^a	39.5±0.2 ^a
2	39.1±0.2 ^a	39.4±0.2 ^a	39.0±0.2 ^a
3	39.1±0.2 ^a	39.1±0.2 ^a	39.2±0.2 ^a
Promedio	39.4 ± 0.1^a	39.4 ± 0.1^a	39.2 ± 0.1^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 5. Efecto del tratamiento sobre la Frecuencia Respiratoria (FR). Experimento II.

Tratamiento	FR		
	P1	P2	P3
1	93.7±3.2 ^a	90.5±2.9 ^a	80.1±2.9 ^b
2	89.1±3.1 ^a	91.4±2.9 ^a	76.7±2.9 ^b
3	95.2±3.3 ^a	95.2±3.3 ^a	80.2±2.9 ^b
Promedio	92.7 ± 1.8^a	92.0 ± 1.7^a	79.0 ± 1.7^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 6. Efecto del período sobre la Frecuencia Respiratoria (FR). Experimento II.

Período	FR		
	T1	T2	T3
1	93.7±3.2 ^a	89.1±3.1 ^a	95.2±3.3 ^a
2	90.5±2.9 ^a	91.4±2.9 ^a	95.2±3.3 ^a
3	80.1±2.9 ^a	76.7±2.9 ^a	80.2±2.9 ^a
Promedio	88.1 ± 1.7^a	85.7 ± 1.7^a	89.9 ± 1.8^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 7. Efecto del tratamiento sobre la Temperatura Rectal (TR). Experimento II.

Tratamiento	TR		
	P1	P2	P3
1	39.3±0.1 ^a	39.1±0.1 ^a	38.9±0.1 ^b
2	39.3±0.1 ^a	39.3±0.1 ^a	38.9±0.1 ^b
3	39.3±0.1 ^a	39.2±0.1 ^a	38.9±0.1 ^b
Promedio	39.3 ± 0.06^a	39.2 ± 0.05^a	38.9 ± 0.05^b

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

Cuadro 8. Efecto del período sobre la Temperatura Rectal (TR). Experimento II.

Período	TR		
	T1	T2	T3
1	39.3±0.1 ^a	39.3±0.1 ^a	39.3±0.1 ^a
2	39.1±0.1 ^a	39.3±0.1 ^a	39.2±0.1 ^a
3	38.9±0.1 ^a	38.9±0.1 ^a	38.9±0.1 ^a
Promedio	39.1 ± 0.05^a	39.2 ± 0.05^a	39.1 ± 0.05^a

^{a,b} Literales distintas dentro de la misma hilera indican diferencia (P<0.05).

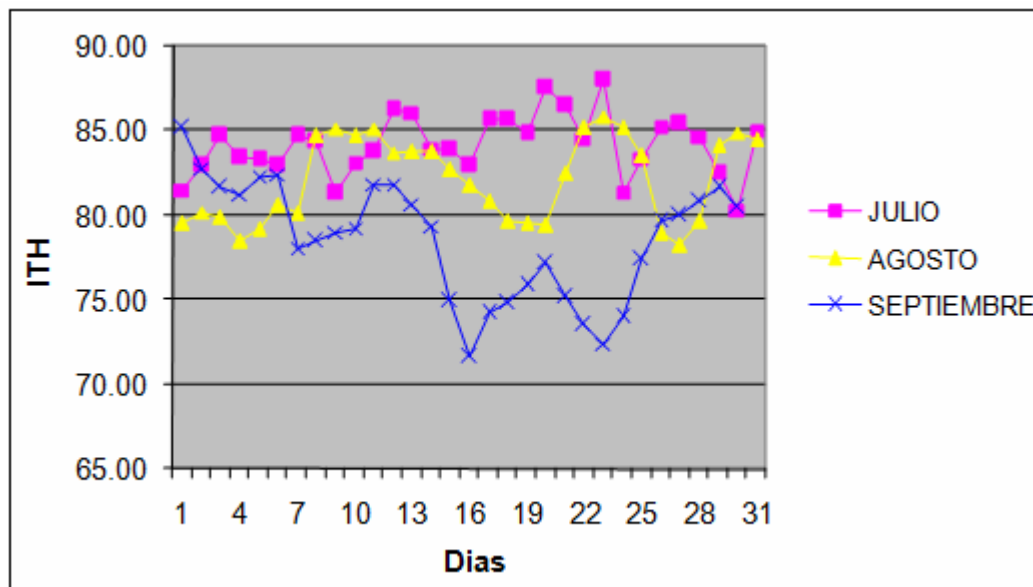


Figura 1. Promedio de ITH en el Valle de Mexicali en el verano 2006.

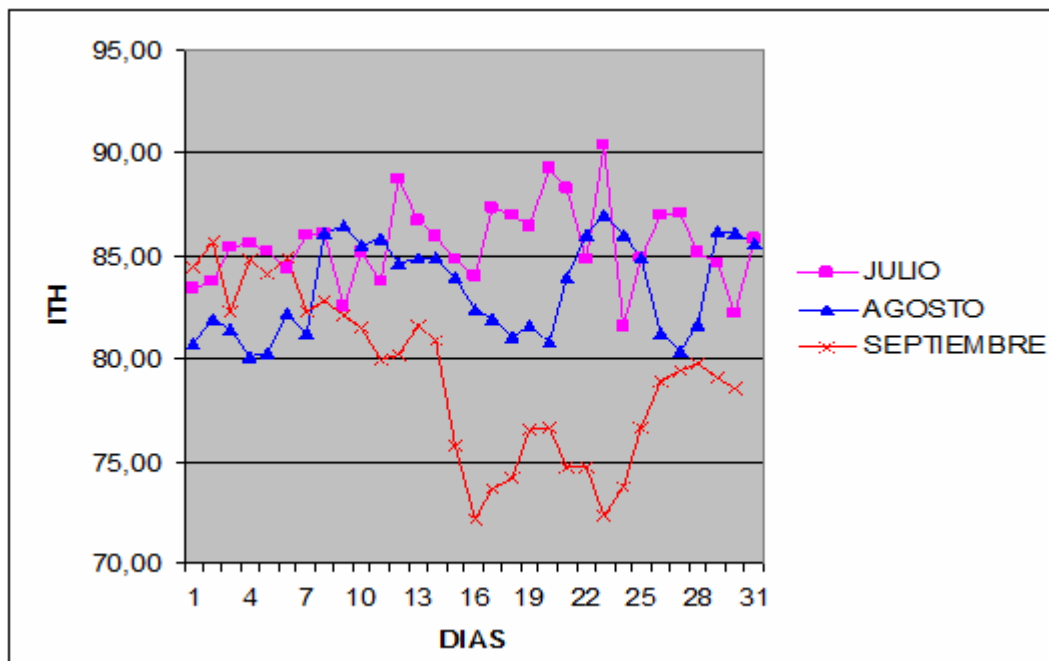


Figura 2. Promedios diarios de ITH durante las horas del día (0600-1700 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.

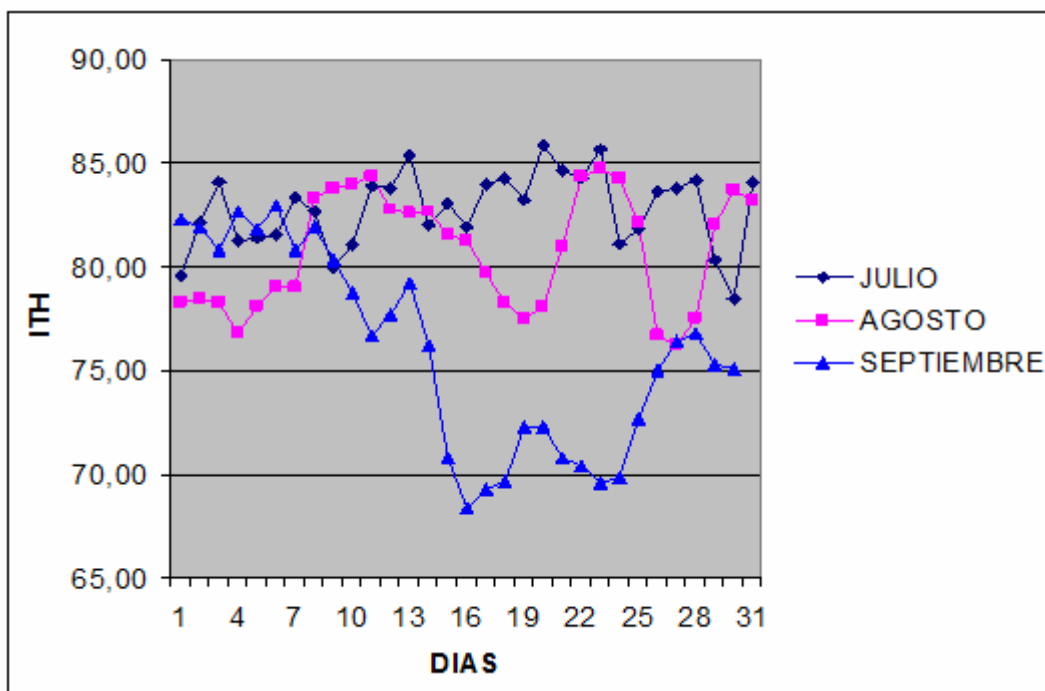


Figura 3. Promedios diarios de ITH durante las horas de la noche (1800-0500 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.

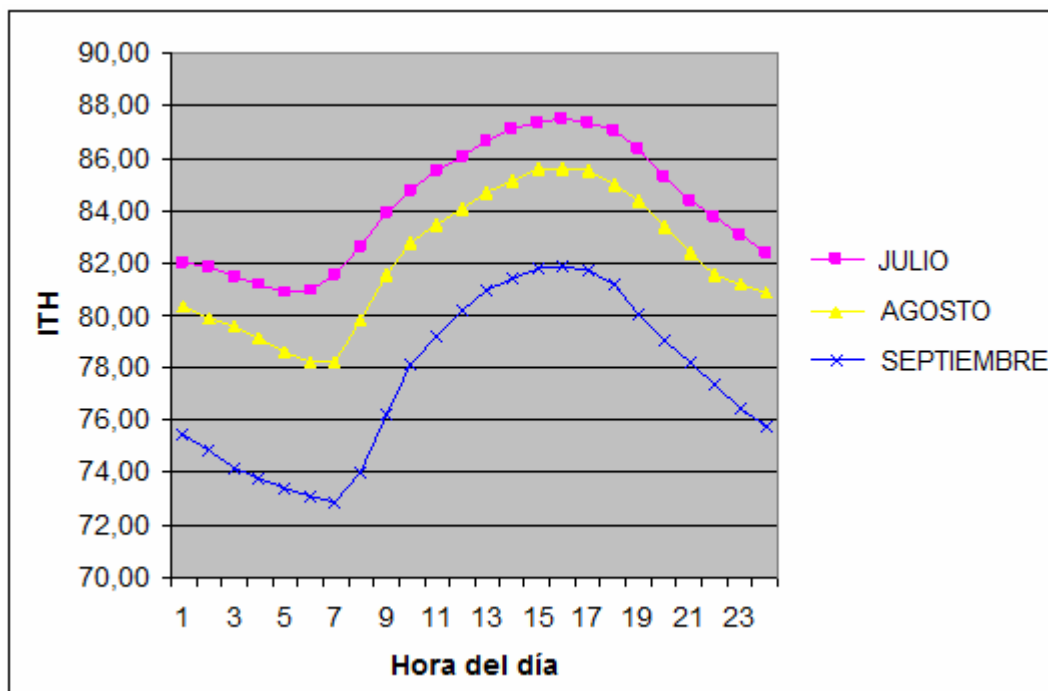


Figura 4. Promedios diarios de ITH durante las horas del día (0000-2300 h) en el Valle de Mexicali en el verano 2006.