

ENFRIAMIENTO ARTIFICIAL Y TASA DE CONCEPCIÓN DE VAQUILLAS HOLSTEIN CON ESTRÉS TÉRMICO

COOLING AND CONCEPTION RATE IN HOLSTEIN HEIFERS WITH HEAT STRESS

Correa-Calderón, A.^{1*}, G. des Santos¹, L. Avendaño¹, F. Rivera¹, D. Alvarez¹, F. Ardon¹, R. Diaz² y R. Collier³

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. CP 21705. Ejido Nuevo León. B.C. México. *Correspondencia: acorrea@uabc.mx

²Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali. B.C. México.

³Department of Animal Science. University of Arizona. Tucson. USA.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Fertilidad. Ventilación. Aspersión. Sincronización del estro.

ADDITIONAL KEYWORDS

Fertility. Ventilation. Fogging. Estrus synchronization.

RESUMEN

Las altas temperaturas afectan la reproducción del ganado bovino reduciendo la intensidad del estro y la fertilidad. Basado en lo anterior el objetivo del estudio fue evaluar los efectos de la inseminación artificial (IA) a tiempo fijo más un período corto de enfriamiento ambiental sobre la tasa de concepción y respuesta fisiológica de vaquillas bajo estrés calórico. Noventa vaquillas Holstein fueron distribuidas aleatoriamente en uno de los siguientes tratamientos: Un tratamiento testigo (T_1) con detección visual de estro e IA mañana-tarde ($n=30$); un segundo tratamiento (T_2) bajo un protocolo de IA a tiempo fijo ($n=30$) y un tercer tratamiento (T_3) con el mismo protocolo de IA de T_2 más un período de enfriamiento ambiental (ventilación y aspersión) de las vaquillas 11 d antes y 21 d después de la IA ($n=30$). El experimento se dividió en dos períodos: el primero del 25 de junio al 26 de julio; el segundo del 15 de agosto al 16 de septiembre. En el primer período las vaquillas en T_3 tuvieron una temperatura rectal ($39,35^\circ\text{C}$) más baja ($p<0,01$) en comparación con T_1 ($39,68^\circ\text{C}$) y T_2 ($39,67^\circ\text{C}$); la frecuencia respiratoria (respiraciones/min) fue menor ($p<0,01$) en T_3 (72) comparada con T_1 (85) y T_2 (84). La tasa de concepción no difirió entre T_3 ($64,3\%$) y T_1 ($46,7\%$) pero ambos mostraron una tendencia a ser mayores ($p<0,10$) a T_2 ($13,3\%$). En el segundo período la temperatura rectal en T_3 ($39,24^\circ\text{C}$) fue menor ($p<0,01$) que en T_1 ($39,61^\circ\text{C}$) y T_2 ($39,62^\circ\text{C}$). La

frecuencia respiratoria también fue inferior ($p<0,01$) en T_3 (77) respecto a T_1 (87) y T_2 (94), siendo T_1 y T_2 diferentes entre sí ($p<0,01$). La tasa de concepción fue similar entre T_3 (40%), T_1 (13%) y T_2 (13%). La tasa de concepción total incluyendo los dos períodos presentó una tendencia a ser mejorada ($p<0,10$) por T_3 ($51,7\%$) con respecto a T_2 ($13,3\%$) y T_1 ($30,0\%$). La IA a tiempo fijo, combinada con un período corto de enfriamiento ambiental, puede ser una alternativa para incrementar la fertilidad en vaquillas Holstein durante el verano.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of a timed artificial insemination protocol plus a period of artificial cooling on conception rate and physiologic response of heifers under heat stress. Ninety Holstein heifers were randomly allotted into one of three treatments: A control treatment (T_1) with visual heat detection and insemination morning-evening ($n=30$), a second treatment (T_2) under a timed artificial insemination protocol and a third treatment (T_3) with the same protocol than T_2 plus an artificial cooling period beginning 11 d before and ending 21 d after insemination. The experiment was divided in two periods: the first period was from June 25 to July 26, and the second one from August 15 to September 16.

Recibido: 14-9-07. Aceptado: 21-2-08.

Arch. Zootec. 58 (222): 231-239. 2009.

In period 1, heifers in T₃ had a lower ($p < 0.01$) rectal temperature (39.35°C) compared to T₁ (39.68°C) and T₂ (39.67°C); respiration rate (breaths/min) was more reduced ($p < 0.01$) in T₃ (72) in comparison to T₁ (85) and T₂ (84). Conception rate was not different between T₃ (64.3%) and T₁ (46.7%) but both showed a tendency to be different ($p < 0.10$) to T₂ (13.3%). During the period 2, the rectal temperature in T₃ (39.24°C) was lower ($p < 0.01$) than T₁ (39.61°C) and T₂ (39.62°C). Respiration rate also was decreased ($p < 0.01$) in T₃ (77) with respect to T₁ (87) and T₂ (94), being T₁ and T₂ different ($p < 0.01$). Conception rate was similar between T₃ (40%), T₁ (13%) and T₂ (13%). The pregnancy rate including both periods had a tendency to be increased ($p < 0.10$) in T₃ (51.7%) compared to T₂ (13.3%) and T₁ (30.0%). The artificial insemination to fixed time plus artificial cooling may be an alternative to increase the fertility of Holstein heifers during the summer.

INTRODUCCIÓN

En climas cálidos, la fertilidad de la vaca lechera disminuye durante el verano (Badinga *et al.*, 1985; Monty y Racowski, 1987). La causa principal de este problema es la reducción de la supervivencia embrionaria inducida por estrés térmico debido al efecto negativo del incremento de la temperatura corporal sobre el desarrollo del embrión (Ealy *et al.*, 1993). La exposición de hembras bovinas a altas temperaturas ambientales durante la maduración del óvulo y ovulación (Putney *et al.*, 1989) o durante los 3 a 7 días posteriores a la inseminación artificial (Putney *et al.*, 1988) disminuye la viabilidad y desarrollo del embrión. El estrés calórico también reduce la longitud (Monty y Wolf, 1974) e intensidad (Gangwar *et al.*, 1965) del estro. Estos cambios en la actividad reproductiva causados por el estrés calórico disminuyen la probabilidad de detectar el estro. Thatcher y Collier (1986) reportaron que el porcentaje de estros no detectados en hatos comerciales en regiones cálidas varió entre 76 a 82% de junio a septiembre, en comparación al 50% de celos detectados en otras épocas del año.

Los avances tecnológicos han permiti-

do mantener niveles aceptables e inclusive incrementar la tasa de preñez con inseminación a tiempo fijo, siguiendo un programa de sincronización del estro y ovulación, con el cual se elimina la práctica de detección de celo. El uso de la IA a tiempo fijo puede disminuir los problemas en la detección del estro causados por el estrés calórico; sin embargo, el incremento de la muerte embrionaria por el efecto de altas temperaturas ambientales impide que la tasa de preñez durante el verano sea similar a la de invierno.

La reducción del estrés calórico por diferentes métodos como el uso de sombras (Thatcher *et al.*, 1974), ventilación (Berman *et al.*, 1985) y aspersión de agua (Igono *et al.*, 1985) reduce parcialmente la temperatura corporal. El enfriamiento mediante ventilación y aspersión de agua durante los primeros 10 días post-inseminación ha mejorado la fertilidad de las vacas lecheras (Gauthier, 1983). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta reproductiva y fisiológica de vaquillas Holstein a un programa de inseminación a tiempo fijo más un periodo de enfriamiento ambiental mediante ventilación y aspersión de agua antes y después de la inseminación artificial.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una recría de ganado lechero Holstein ubicada en la colonia Ahumadita, en la zona suburbana de Mexicali B.C., durante los meses de junio a septiembre. Las condiciones climáticas de la zona de estudio son clasificadas como las del desierto de Sonora, las cuales son condiciones cálidas extremas con temperaturas máximas de junio a septiembre de 47°C y promedios de 40°C, mientras que las temperaturas mínimas que se registran en diciembre y enero son de 0°C con un promedio de 16°C. La zona tiene una precipitación promedio anual de 80 mm (García, 1973).

Noventa vaquillas Holstein vírgenes en edad y peso promedio de 13 meses y 369 kg

ENFRIAMIENTO ARTIFICIAL CON ESTRÉS TÉRMICO Y TASA DE CONCEPCIÓN

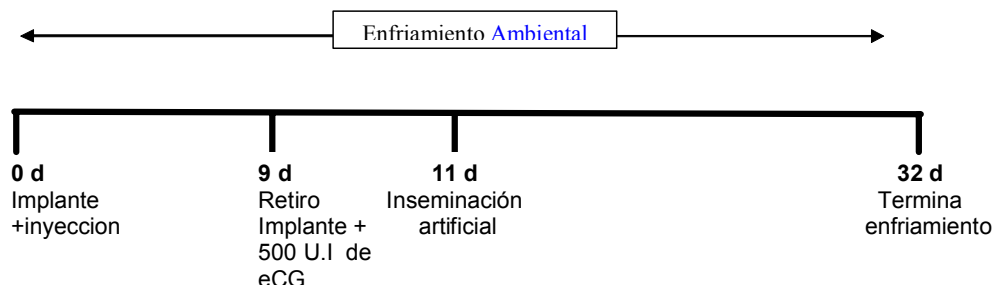


Figura 1. Protocolo de sincronización del estro con IA a tiempo fijo combinado con enfriamiento ambiental en vaquillas Holstein. (Timed artificial insemination protocol plus artificial cooling for Holstein heifers).

respectivamente, se asignaron aleatoriamente a uno de tres tratamientos. Un tratamiento testigo (T_1) bajo el programa común de detección visual de estro (2 veces/día) e inseminación mañana-tarde ($n=30$). El segundo tratamiento (T_2) estuvo formado por vaquillas con estro sincronizado mediante la aplicación de un implante de 3 mg de Norgestomet en la oreja por 9 d, más una inyección conteniendo 3 mg de Norgestomet y 5 mg de valerato de estradiol (Crestar®; Intervet International, Boxmeer, The Netherlands). Al retirar el implante se inyectó una dosis de 500 UI de gonadotropina sérica (eCG) liofilizada (Folligon®; Intervet International, Boxmeer, The Netherlands). La inseminación artificial se realizó a tiempo fijo 48 h después de removido el implante. El tercer tratamiento (T_3) tuvo el mismo protocolo de sincronización e inseminación que T_2 , más un periodo de enfriamiento artificial proporcionado desde la aplicación del implante hasta 21 días después de la inseminación, que en total fueron 32 d de enfriamiento (**figura 1**). Debido a que existen reportes acerca de que la fertilidad es mucho más baja al final del verano en comparación del inicio del mismo (Stott and Wiersma, 1976), el experimento se dividió en dos periodos, el primero del 25 de junio al 26 de julio (inicio de verano) y el segundo del 15 de agosto al 16 de septiembre (final de verano), utilizándose 15 vaquillas por tratamiento en cada periodo.

Antes de iniciar el estudio todas las vaquillas se palparon por vía rectal para determinar su condición reproductiva, eliminando las que presentaron algún problema de quistes ováricos, ovarios inactivos o cualquier otra situación que pudiera afectar su eficiencia reproductiva. Vaquillas en condición corporal $<2,5$ (en una escala de 1 a 5) o con síntomas de alguna enfermedad también se retiraron del estudio.

En la **tabla I** se muestra la composición química de la dieta consumida por las vaquillas durante el experimento, la cual se basó en una mezcla de forraje con 20% de avena y 80% de alfalfa ofrecida a libre acceso. El corral con el equipo de enfriamiento contaba con sombra cerrada a base de lámina galvanizada, mientras que los otros corrales tenían el mismo tipo de lámina pero espaciada a 0,10 m una de otra. La altura promedio de la sombra fue 3,5 m con orientación norte-

Tabla I. Composición química de la dieta¹ (Chemical composition of the diet).

Materia seca	96,33
Extracto etéreo	1,81
Proteína bruta	11,97
Cenizas	11,10
FDN	55,64
FDA	38,91
Calcio	0,41

¹Expresada como porcentaje de la materia seca.

sur. El espacio por animal fue 32 m² de los cuales seis fueron de área de sombra.

El enfriamiento de las vaquillas se realizó a través de un sistema de enfriamiento basado en seis abanicos de 0,91 m de diámetro con motor de ½ caballo de fuerza y con un movimiento de aire de 180 m³/min. Los abanicos se colocaron en línea en el lado oeste de la sombra. Los aspersores colocados enfrente de los abanicos tuvieron un gasto de agua de 52 l/h, y el sistema de enfriamiento operó 13 h por día con un horario de 7:00 a 17:00 y de 19:00 a 22:00 h. La temperatura y humedad relativa del ambiente se registraron cada hora en la estación climatológica del Departamento de Meteorología del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, la cual se encuentra ubicada aproximadamente a 10 km del área de estudio, por lo que la información climatológica es descriptiva de la zona y no propia del ensayo. El índice de temperatura-humedad (ITH) se calculó con la información recabada mediante la siguiente ecuación (West, 1995):

$$ITH = Td - [(0,55) - (0,55 \times HR)] - [Td - 58]$$

Donde:

Td= Temperatura de bulbo seco en °F.

HR= Humedad relativa expresada en centésimas.

La temperatura rectal se registró a partir de las 16:30 h en todas las vaquillas por medio de un termómetro electrónico digital (Electro-therm, TC100A, Cooper Instrument Corp.), mientras que la frecuencia respiratoria, determinada por el conteo de movimientos del flanco por minuto, fue registrada a las 15:30 h en 10 vaquillas de cada tratamiento. Ambas variables se registraron tres veces por semana. La gestación se determinó por palpación rectal 60 d después de la inseminación artificial. La tasa de concepción a primer servicio fue calculada como el porcentaje de vaquillas que concibieron a la primera inseminación, ya sea del estro sincronizado o natural (Van Cleeff *et al.*, 1996)

y fue analizada por medio de una prueba χ^2 . Para el análisis de las variables temperatura rectal y frecuencia respiratoria se utilizó un diseño experimental completamente al azar con mediciones repetidas utilizando los comandos REPEATED y RANDOM del procedimiento MIXED del programa estadístico SAS (SAS, 2004). El modelo incluyó los efectos tratamiento, tiempo y su interacción. Como efecto aleatorio se consideró vaquilla anidada en la interacción tratamiento con tiempo, el cual fue utilizado para las pruebas de F. Se probaron distintas estructuras de covarianza, seleccionando de acuerdo con los valores obtenidos en los criterios Akaike y Bayesiano la estructura autoregresiva de primer orden (Littell *et al.*, 1996). Las diferencias se declararon significativas a un nivel de 0,05. Se consideró como una tendencia cuando la probabilidad varió entre 0,05 y 0,10. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa SAS versión 9.1.2. (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DATOS CLIMATOLÓGICOS

En la **tabla II** se muestra la temperatura ambiente, la humedad relativa e ITH durante la realización del experimento. El periodo 1 registró un promedio de temperatura ambiente durante el día (07:00-19:00 h) de 38,6°C y de 31,7°C por la noche (20:00-06:00 h). La humedad del ambiente en horas del día fue de 32,1% y por la noche de 47,1%. El ITH diurno fue de 85, mientras que el promedio por la noche fue 79.

En el periodo 2 la temperatura ambiente fue de 37,5°C y 30,8°C, humedad ambiental de 33,3% y 48,3% y el ITH fue 83 y 76 para día y noche, respectivamente. De acuerdo con Wiersma (1990), los promedios de ITH registrados durante el estudio se encuentran dentro de la categoría de estrés térmico moderado, además de indicar que los animales estuvieron bajo estrés calórico continuo durante las 24 h del día. Lo anterior produce una condición más negativa para la produc-

ENFRIAMIENTO ARTIFICIAL CON ESTRÉS TÉRMICO Y TASA DE CONCEPCIÓN

tividad del animal, en comparación a un estrés calórico severo por períodos cortos de tiempo. Estrategias de enfriamiento durante las 24 horas del día, aparentemente son requeridas pero serían poco costeables económicamente. En el caso de vacas en producción donde el beneficio no es sólo en lo reproductivo sino también en la producción de leche podría ser más redituable el enfriamiento por una mayor cantidad de horas durante el día.

TEMPERATURA RECTAL

Las temperaturas rectales de los periodos 1 y 2 se muestran en las **tablas III y IV**, respectivamente. Los resultados indican que la temperatura rectal en el periodo 1 fue menor en T_3 ($p < 0,01$) en 0,33 y 0,32°C en comparación de T_1 y T_2 . En el periodo 2 los resultados fueron similares a los del periodo 1, ya que el tratamiento T_3 solo redujo en 0,37 y 0,38°C la temperatura rectal con respecto a T_1 y T_2 ($p < 0,01$). Diferencias superiores fueron reportadas por Her *et al.* (1988)

con medias de 0,5 a 0,9°C entre vacas con enfriamiento y sin enfriamiento, resultados similares también fueron reportados por Wolfenson *et al.* (1988).

La temperatura rectal promedio de los tratamientos T_1 y T_2 fue superior en más de 1°C con respecto a la temperatura promedio de una vaquilla lechera en su zona termoneutral (38,5°C). Ulberg y Burfening (1967) encontraron que la fertilidad declina de 61 a 45% cuando la temperatura rectal se incrementa en 1°C.

FRECUENCIA DE RESPIRACIÓN

La frecuencia de respiración de los periodos 1 y 2 es mostrada en las **tablas V y VI**. Los resultados obtenidos indicaron una menor ($p < 0,01$) frecuencia respiratoria media para las vaquillas del T_3 (72) comparadas con los tratamientos T_1 (85) y T_2 (84), dentro del periodo 1. En el periodo 2, el grupo T_3 (77) presentó una menor frecuencia respiratoria en comparación con T_1 (87) y T_2 (94) siendo todos los tratamientos diferentes

Tabla II. Temperatura, humedad ambiental e ITH registrados en la región durante el periodo experimental. (Ambiental temperature, humidity and THI recorded in the zone during the experimental period).

	Temperatura ambiente (°C)		Humedad ambiental (%)		ITH	
	Día ^a	Noche ^b	Día ^a	Noche ^b	Día ^a	Noche ^b
Periodo 1 (semana)						
1	38,6	30,7	23,4	36,4	83	77
2	39,4	32,8	32,0	44,8	86	81
3	38,7	32,2	36,4	56,7	86	82
4	38,1	31,2	36,8	54,9	85	80
5	38,0	31,5	31,9	42,9	84	77
Promedio	38,6	31,7	32,1	47,1	85	79
Periodo 2 (semana)						
1	39,1	32,3	39,5	58,8	87	77
2	37,0	29,9	36,9	54,7	83	74
3	38,4	30,4	19,3	28,9	81	72
4	39,6	33,0	29,2	43,9	85	80
5	33,4	28,3	41,6	55,4	80	77
Promedio	37,5	30,8	33,3	48,3	83	76
Promedio general	38,0	31,2	32,7	47,7	84	78

^a07:00-19:00 h; ^b20:00-06:00 h.

Tabla III. Efecto del enfriamiento ambiental sobre la temperatura rectal de vaquillas Holstein durante el verano. Periodo 1. (Effect of A.I to fixed time plus cooling on rectal temperature of Holstein heifers during the summer. Period 1).

Semana	T ₁ Media±E.E.	T ₂ Media±E.E.	T ₃ Media±E.E.
1	39,63±0,09 ^a	39,95±0,10 ^b	39,09±0,09 ^c
2	39,26±0,09 ^a	39,14±0,10 ^a	39,13±0,09 ^a
3	40,07±0,09 ^a	40,28±0,10 ^a	39,79±0,09 ^b
4	39,82±0,09 ^a	39,83±0,10 ^a	39,57±0,09 ^b
5	39,59±0,09 ^a	39,49±0,10 ^a	39,19±0,09 ^b
Promedio	39,68±0,06 ^a	39,67±0,07 ^a	39,35±0,06 ^b

^{abc}Medias dentro de hileras con distinta literal difieren estadísticamente ($p < 0,01$).

Tabla IV. Efecto del enfriamiento ambiental sobre la temperatura rectal de vaquillas Holstein durante el verano. Periodo 2. (Effect of A.I to fixed time plus cooling on rectal temperature of Holstein heifers during the summer. Period 2).

Semana	T ₁ Media±E.E.	T ₂ Media±E.E.	T ₃ Media±E.E.
1	40,31±0,09 ^a	40,20±0,09 ^a	39,49±0,09 ^b
2	39,18±0,09 ^a	39,25±0,09 ^a	39,03±0,09 ^a
3	39,46±0,09 ^a	39,37±0,09 ^a	39,00±0,09 ^b
4	39,73±0,09 ^a	39,99±0,09 ^b	39,49±0,09 ^c
5	39,37±0,09 ^a	39,33±0,09 ^a	39,19±0,09 ^a
Promedio	39,61±0,07 ^a	39,62±0,07 ^a	39,24±0,06 ^b

^{abc}Medias dentro de hileras con distinta literal difieren estadísticamente ($p < 0,01$).

($p < 0,01$) entre sí. Mount (1979) señala que valores entre 20 y 60 respiraciones por minuto, son considerados normales bajo condiciones termoneutrales, sin embargo, frecuencias respiratorias en un rango de 80 a 120 son comunes en animales bajo un estrés calórico moderado (Gaughan *et al.*, 1999). En base a esos trabajos y de acuerdo a

nuestros resultados, se puede indicar que las vaquillas estuvieron sometidas a un estrés calórico moderado. Más aún, cuando la frecuencia respiratoria es mayor de 120 respiraciones por minuto se puede considerar que el animal está sometido a una carga excesiva de calor provocada por un estrés calórico severo (Hahn y Mader, 1997).

Tabla V. Efecto del enfriamiento ambiental sobre la frecuencia respiratoria de vaquillas Holstein durante el verano. Periodo 1. (Effect of A.I to fixed time plus cooling on respiration rate of Holstein heifers during the summer. Period 1).

Semana	T ₁ Media±E.E.	T ₂ Media±E.E.	T ₃ Media±E.E.
1	72±2,52 ^a	72±2,49 ^a	62±2,63 ^b
2	75±2,52 ^{ab}	78±2,49 ^a	69±2,63 ^b
3	91±2,52 ^a	88±2,49 ^a	76±2,63 ^b
4	94±2,52 ^a	91±2,49 ^a	74±2,63 ^b
5	92±2,52 ^a	93±2,49 ^a	77±2,63 ^b
Promedio	85±2,44 ^a	84±2,44 ^a	72±2,57 ^b

^{abc}Medias dentro de hileras con distinta literal difieren estadísticamente ($p < 0,01$).

Tabla VI. Efecto del enfriamiento ambiental sobre la frecuencia respiratoria de vaquillas Holstein durante el verano. Periodo 2. (Effect of A.I to fixed time plus cooling on respiration rate of Holstein heifers during the summer. Period 2).

Semana	T ₁ Media±E.E.	T ₂ Media±E.E.	T ₃ Media±E.E.
1	99±2,48 ^a	106±2,50 ^a	80±2,49 ^b
2	75±2,48 ^a	89±2,50 ^b	73±2,49 ^a
3	82±2,48 ^a	90±2,50 ^b	75±2,49 ^c
4	97±2,48 ^a	100±2,50 ^a	82±2,49 ^b
5	83±2,48 ^a	85±2,50 ^a	75±2,49 ^b
Promedio	87±2,44 ^a	94±2,44 ^b	77±2,44 ^c

^{abc}Medias dentro de hileras con distinta literal difieren estadísticamente ($p < 0,01$).

ENFRIAMIENTO ARTIFICIAL CON ESTRÉS TÉRMICO Y TASA DE CONCEPCIÓN

TASA DE CONCEPCIÓN

Los datos de preñez en el periodo 1 mostrados en la **tabla VII** indican que el porcentaje de vaquillas preñadas del tratamiento T_3 (64,3%) y T_1 (46,7%) fueron similares entre sí ($p > 0,10$), sin embargo, se observó una tendencia a diferir ($p < 0,10$) con T_2 (13,3%). En el periodo 2, T_3 presentó la mejor tasa de preñez (40%) comparado a T_1 (13,3%) y T_2 (13,3%); no obstante, esa diferencia no fue significativa ($p > 0,10$). La tasa de concepción promedio total de ambos periodos mostró que T_3 (51,7%) presentó una tendencia a mejorar ($p < 0,10$) la preñez en comparación a T_2 (13,3%) y T_1 (30%).

Aún cuando la susceptibilidad al estrés calórico puede ser mayor para vacas que para vaquillas, la respuesta reproductiva a este estrés puede ser similar si las condiciones de hipertermia equivalentes son creadas (Wilson *et al.*, 1998). Vaquillas Holstein superovuladas y sometidas a estrés térmico entre 30 h después de iniciado el estro y el 7 día post-estro incrementaron la incidencia de embriones anormales en comparación a vaquillas en su zona termoneutral (Putney *et al.*, 1988). Las condiciones de hipertermia indicadas por las temperaturas rectales de las vaquillas fueron similares a las de vacas en lactancia en algunas semanas del estudio ($> 40^\circ\text{C}$). Vacas estresadas por calor y enfriadas de 2 a 3 días antes hasta 5 a 6 días después de la inseminación mejoraron su tasa de preñez, en comparación a vacas con solamente sombra, sin embargo, la magnitud de la respuesta (16 vs. 6 %, respectivamente) no fue muy alta (Ealy *et al.*, 1994).

Stott y Wiersma (1976) reportan que la eficiencia reproductiva es mayor durante la etapa inicial del verano que al final de éste, cuando los animales han sido sometidos por periodos prolongados a altas temperaturas. Un efecto similar fue observado en el presente estudio, ya que la fertilidad media fue considerablemente inferior en T_3 y T_1 en el periodo 2 comparado al periodo 1; esta respuesta fue posiblemente debida al efec-

Tabla VII. Efecto de la I.A a tiempo fijo o a celo natural y del enfriamiento ambiental sobre la tasa de concepción de vaquillas Holstein durante el verano. (Effect of A.I to fixed time plus cooling on conception rate of Holstein heifers during the summer).

	Concepción (%)			Total
	periodo 1	periodo 2		
T_1	46,7 ^a	13,3 ^a	30,0 ^a	(9/30)
T_2	13,3 ^b	13,3 ^a	13,3 ^a	(4/30)
T_3	64,3 ^a	40,0 ^a	51,7 ^b	(15/29)

^a^bMedias dentro de columnas con distinta literal tienden a diferir estadísticamente ($p < 0,10$).

to acumulativo de la exposición a altas temperaturas por un mayor tiempo en las vaquillas del periodo 2.

Al respecto, Badinga *et al.* (1993) indican que un estrés calórico crónico como el presentado en vacas al final del verano reduce los niveles de estradiol en plasma y fluido folicular en comparación a las concentraciones en vacas al inicio del verano, ya que éstas han experimentado este tipo de estrés por un periodo más corto de tiempo. Una reducción de los niveles de estradiol también fue encontrada en vaquillas Holstein estresadas por calor en comparación a vaquillas en su zona termoneutral (Wilson *et al.*, 1998). Resultados similares fueron encontrados en vaquillas Guernsey sujetas a estrés térmico (Abilay *et al.*, 1975).

Adicionalmente, las alteraciones en el desarrollo folicular durante el estrés calórico pueden afectar la subsiguiente función del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona, ya sea incrementando (Gwazdauskas *et al.*, 1981) o disminuyendo sus niveles (Rosenberg *et al.*, 1982), lo que resulta en alteraciones en el ambiente uterino que afectan el desarrollo del embrión (Breuel *et al.*, 1993). Wolfenson *et al.* (1995) reportaron que vacas lecheras bajo un sistema de enfriamiento presentaron mayores niveles de estrógenos entre el día 4-8 de la primera

onda folicular comparado con vacas sin el beneficio del enfriamiento, sin embargo, los niveles de progesterona a través del ciclo estrual no fueron afectados por el enfriamiento. Ulberg y Burfening (1967) señalan que altas temperaturas ambientales 11 días antes de la inseminación estuvieron negativamente correlacionadas con la tasa de concepción. El periodo de enfriamiento que se inició 11 días antes de la inseminación, pudo haber contribuido al incremento del porcentaje de fertilidad registrado en T_3 . En resumen, se puede indicar que la IA a tiempo fijo combinada con enfriamiento antes y después de la inseminación mostró una tendencia a incrementar la tasa de concepción en vaquillas estresadas por calor, en especial en aquellas servidas en el último tercio

del verano. La mejora del confort de vaquillas mantenidas bajo enfriamiento, mostrado por una reducción de la frecuencia respiratoria y temperatura rectal, pudo contribuir a disminuir la mortalidad embrionaria como consecuencia de las altas temperaturas durante la época experimental. Futuras investigaciones con un mayor número de animales son requeridas para dar una mayor solidez a estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Fondo Mixto Gobierno de Baja California-CONACYT por el apoyo recibido para la realización del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Badinga, L.R., R.J. Collier, W.W. Thatcher and C.J. Wilcox. 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environments. *J. Dairy Sci.*, 68: 78-85.
- Badinga, R., W.W. Thatcher, T. Diaz, M. Drost and D. Wolfenson. 1993. Effect of environmental heat stress on follicular steroidogenesis and development in lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 39: 797-810.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Hertz, D. Wolfenson, A. Arieli and Y. Graber. 1985. Upper critical temperature and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.*, 68: 1488-1495.
- 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.
- Ealy, A.D., M. Drost and P.J. Hansen. 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.*, 76: 2899-2905.
- Ealy, A.D., C.F. Aréchiga, D.R. Bray, C.A. Risco and P.J. Hansen. 1994. Effectiveness of short-term cooling and vitamin E for alleviation of infertility induced by heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 77: 3601-3607.
- Gangwar, P.C., C. Branton and D.L. Evans. 1965. Reproductive and physiological response of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. *J. Dairy Sci.*, 48: 222-227.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de Köeppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. p. 246.
- Gaughan, J.B., T.L. Mader, S.M. Holt, M.J. Josey and K.J. Rowan. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J. Anim. Sci.*, 77: 2398-2405.
- Gauthier, D. 1983. A technique for improving the fertility of French Friesian cows in a tropical climate. Effect on plasma progesterone profile. *Reprod. Nutr. Dev.*, 23: 129.
- Gwazdauskas, F.C., W.W. Thatcher, C.A. Kiddy, M.J. Paape and C.J. Wilcox. 1981. Hormonal patterns during heat stress following PGF_{2α}-tham salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology*, 30: 271-285.

ENFRIAMIENTO ARTIFICIAL CON ESTRÉS TÉRMICO Y TASA DE CONCEPCIÓN

- Hahn, G.L. and T.L. Mader. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation feeding behavior and mortality of feed lot cattle. Proc. 5th Int. Liv. Environ. Symp. Am. Soc. Agric. Eng., St Joseph, MI. p. 563-571.
- Her, E., D. Wolfenson, I. Flamenbaum, I. Folman, M. Kaim and A. Berman. 1988. Thermal, productive, and reproductive responses of high yielding cows exposed to short-term cooling in summer. *J. Dairy Sci.*, 71: 1085-1092.
- Igono, M.O., B.J. Steevens, M.D. Shanklin and H.D. Johnson. 1985. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperatures of cows during a moderate summer season. *J. Dairy Sci.*, 68: 979-985.
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup and R.D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed . SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. p. 92-102.
- Monty, D.E. and C. Racowski. 1987. *In vitro* evaluation of early embryo viability and development in summer heat stressed superovulated dairy cows. *Theriogenology*, 28: 451-465.
- Monty, D.E. and L.K. Wolf. 1974. Summer heat stress and reduced fertility in Holstein-Friesian cows in Arizona. *Am. J. Vet. Res.*, 35: 1496-1500.
- Mount, L.E. 1979. Adaptation to thermal environment: Man and his productive animals. University Park Press. Baltimore, MD.
- Putney, D.J., M. Drost and W.W. Thatcher. 1988. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated temperatures between days 1 to 7 post insemination. *Theriogenology*, 30: 195-209.
- Putney, D.J., S. Mullins, W.W. Thatcher, M. Drost and T.S. Gross. 1989. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim. Reprod. Sci.*, 19: 37-51.
- Rosenberg, M., Y. Folman, Z. Herz, I. Flamenbaum, A. Berman and M. Kaim. 1982. Effect of climatic conditions on peripheral concentrations of LH, progesterone, oestradiol-17 β in high milk-yielding cows. *J. Reprod. Fertil.*, 66: 139-146.
- SAS. 2004. User's Guide Software released 9.12. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. USA.
- Stott, G.H. and F. Wiersma. 1976. Short term thermal relief for improved fertility in dairy cattle during hot weather. *Int. J. Biometeorol.*, 20: 344-350.
- Thatcher, W.W., F.C. Gwazdauskas, C.J. Wilcox, J. Toms, H.H. Head, D.E. Buffington and W.B. Fredriksson. 1974. Milking performance and reproductive efficiency of dairy cows in an environmental controlled structure. *J. Dairy Sci.*, 57: 304-307.
- Thatcher, W.W. and R.J. Collier. 1986. Effects of climate in bovine reproduction . In: D.A. Morrow. (Ed.). Current therapy in Theriogenology. 2. W.W. Saunders. Philadelphia. p. 301-309.
- Ulberg, L.D. and P.J. Burfening. 1967. Embryo death resulting from adverse environment on spermatozoa or ova. *J. Anim. Sci.*, 26: 571-577.
- Van Cleef, J., K.L. Mcmillan, 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 service. *Theriogenology*, 46: 1117-1130.
- West, J.W. 1995. Managing and feeding lactating dairy cows in hot weather. In Management of dairy cattle in hot weather. Protiva-Monsanto. St. Louis Mo. III.3.1-III.3.15.
- Wiersma, F. 1990. THI for dairy cows. Department of Agricultural Engineer. The University of Arizona. Tucson, Az.
- Wilson, S.J., C.J. Kirby, A.T. Koenigsfeld, D.H. Keisler and M.C. Lucy. 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. *J. Dairy Sci.*, 81: 2132-2138.
- Wolfenson, D., I. Flamenbaum and A. Berman. 1988. Hiperthermia 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., W.W. Thatcher, L. Badinga, J.D. Savio, R. Meidan, B.J. Lew, R. Braw-Tal and A. Berman. 1995. Effect of heat stress on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. *Biol. Reprod.*, 52: 1106-1113.