

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**EFFECTO DE SUPLEMENTAR PROGESTERONA Y ENFRIAMIENTO
ARTIFICIAL DESPUES DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A
TIEMPO FIJO EN VAQUILLAS HOLSTEIN DURANTE EL VERANO**

TESIS

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

PRESENTA

MARIO ALBERTO SANDOVAL TORRES

DIRECTOR DE TESIS

Ph. D ABELARDO CORREA CALDERÓN

MEXICALI, B.C. MÉXICO

JUNIO 2012

**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.

Junio de 2012.

Ph. D. Abelardo Correa Calderón

Director de tesis

Ph. D. Leonel Avendaño Reyes

Sinodal

Dr. Ulises Macías Cruz

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas por haberme dado la oportunidad de seguir superándome profesionalmente al estudiar un posgrado.

Al Ph. D Abelardo correa calderón, por brindarme su amistad y haberme aceptado en realizar investigación en uno de sus proyectos ayudándome a través de su conocimiento y experiencia en mi formación en este mundo de la investigación.

Al Ph. D Leonel Avendaño reyes, por compartir su conocimiento ayudándome a realizar los análisis estadísticos de los resultados del estudio de investigación que se realizaron en mi estancia en el ICA.

Dr. Ulises Macías Cruz, por su disponibilidad en ayudarme en todos los momentos que le solicite su apoyo y en compartir siempre su valioso tiempo.

M.C. Daniel Alvares Valenzuela, por brindarme su amistad y compartir su experiencia y conocimiento.

Al Dr. Raúl Díaz Molina, por su gran apoyo y ayuda en las pruebas de laboratorio.

Al Ing. Juan Carlos Reinoso Maldonado por permitir se realizara este trabajo de investigación y permitirnos la entrada a su propiedad en todo momento que se requería.

Al personal que labora en el Rancho San Carlos Ing. Rubén Fregoso, Raúl, Alejandro, Daniel, y la Srita Inés por su valiosa ayuda en cada una de las actividades realizadas en el manejo de los animales y en la oficina.

A todos y cada uno de los maestros que fueron parte de mi formación durante mis estudios de maestría.

Por último a cada uno de mis compañeros y amigos lo cual compartimos el tiempo dentro y fuera de las aulas motivándonos para seguir adelante en cada una de las etapas de la maestría, a José Luis Ponce, Alfredo Villarreal, Miguel Ángel Gastelum, Bill Henry, Eudor Vázquez, Eirá calderón, Eney , Néstor Arce, Manuel Hernández, Jorge Hernández, Edgar valencia, Lázaro Sandoval, Maricela Duarte, Gaby Alvarado, Rolando Pérez y una amiga y compañera Maricela Ruiz, por trabajar en equipo en días bastante difíciles y cálidos del Valle de Mexicali.

DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y mostrándome que sin el nada es posible en cada una de las decisiones que me permite realizar, Filipenses: 4; 13.

A mí Mamá, porque siempre he tenido su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida mosteándome su amor y siempre al pendiente de todo lo que he necesitado para llegar hasta donde he llegado.

A mi Papá por enseñarme a trabajar y valorar lo que tengo.

A cada uno de mis hermanos Benjamín, Noé, Hugo, Guísela, Luis y Darío por creer en mí y siempre al pendiente para darme ánimos en cada momento difícil en los que me encontrado y mostrándome su cariño y amor.

A mis cuñadas sobrinos y cuñado que son parte de mi familia a todos y cada uno de ustedes los quiero mucho.

A todos y cada uno de mis familiares que han sido parte importante en mi vida ayudándome con sus oraciones para estar con salud y bienestar estando lejos de casa.

ÍNDICE TEMÁTICO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIAS	iv
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Estrés	4
2.2 Zona termoneutral y estrés calórico	5
2.3 Intercambio de calor entre el animal y su medio ambiente	8
2.4 Variables fisiológicas como indicadoras del estrés calórico	10
2.4.1 Frecuencia respiratoria	10
2.4.2 Temperatura rectal	11
2.5 Efecto del estrés calórico sobre hormonas reproductivas	12
2.6 Estrategias para reducir el efecto negativo del estrés calórico	15
2.6.1 Protocolos de inseminación a tiempo fijo	15
2.6.2 Manejo ambiental	16
2.6.2.1 Sombras	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1 Ubicación y duración del estudio	20
3.2 Animales experimentales y tratamientos	20
3.3 Instalaciones y manejo de animales experimentales	22
3.4 Datos climáticos	22
3.5 Variables de estudio	23
3.5.1 Frecuencia respiratoria y Temperatura rectal	23
3.5.2 Temperatura superficie corporal	23
3.5.3 Temperatura vaginal	23
3.5.4 Tasa de concepción	24

3.5.5 Concentración de progesterona.....	24
3.6 Análisis estadísticos.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Datos climatológicos	26
4.2 Variables fisiológicas.....	27
4.2.1 Frecuencia respiratoria	27
4.2.2 Temperatura rectal.....	28
4.2.3 Temperatura de la superficie corporal	29
4.2.4 Temperatura vaginal	30
4.3 Concentración de progesterona	31
4.4 Tasa de concepción	33
4.5 Re- sincronización de vaquillas Holstein no preñadas al primer servicio	36
V. CONCLUSIONES	45
VI. LITERATURA CITADA.....	46

LISTA DE CUADROS**Páginas**

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta	38
Cuadro 2. Promedios generales de las variables climatológicas durante los tres periodos de estudio	39
Cuadro 3. Frecuencia respiratoria, temperatura rectal y temperatura superficie corporal en los tres periodos de estudio (Media \pm EE)	40
Cuadro 4. Concentración de progesterona (ng/ml) a diferentes días post-IA (Media \pm EE)	41
Cuadro 5. Tasa de concepción en vaquillas Holstein a diferentes periodos de tiempo post-IA	42
Cuadro 6. Tasa de concepción a primer y segundo servicio y porcentaje de vaquillas re-sincronizadas	43

LISTA DE FIGURAS**Páginas**

Figura 2. Promedios de temperaturas vaginales durante las horas de día y de noche en vaquillas Holstein	-----44
---	---------

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de suplementar progesterona (P_4) post-inseminación a tiempo fijo (IATF) más enfriamiento artificial sobre la tasa de concepción y re-sincronización del estro en vaquillas Holstein durante el verano, 120 vaquillas fueron aleatoriamente divididas en dos tratamientos: 1) Grupo testigo, vaquillas mantenidas con sombra en el corral e inseminadas artificialmente usando la regla AM-PM después del celo detectado ($n=60$), y 2) grupo tratado (Sup+E), vaquillas enfriadas artificialmente e IATF con suplementación de progesterona (P_4) entre los días 17 y 22 post-IA ($n=60$). El enfriamiento se ofreció por 22 d iniciando con el protocolo de IATF. Las variables de estudio fueron: frecuencia respiratoria (FR), temperaturas de la piel (TSC) del anca y cuello, temperatura rectal (TR) y vaginal (TV), y concentración de P_4 post-IA (días 0, 17, 19 y 22). La interacción tratamiento x periodo afectó ($P<0.05$) la FR, la TR y la TSC. En testigo, FR, TR y TSC fueron mayores ($P<0.05$) en el periodo 1 en relación al periodo 2 y 3, mientras que en vaquillas Sup+E no se observó diferencias ($P<0.05$) en TR y TSC entre periodos. En general, las vaquillas testigo presentaron mayor ($P<0.05$) FR, TR y TSC que las vaquillas Sup+E. La TV varió ($P<0.05$) entre tratamientos de las 11:00 h a las 19:00 h. Comparado con vaquillas testigo, las vaquillas Sup+E tuvieron similar ($P>0.05$) concentración de P_4 los días 0, 17 y 22 post-IA, pero mayor ($P<0.05$) en el d 19. La tasa de concepción a primer y segundo servicio fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos, sin embargo, las vaquillas Sup+E lograron un alto porcentaje de ($P<0.05$) re-sincronización. En

conclusión, la aplicación de enfriamiento artificial en combinación con un protocolo de IATF y suplementación de P₄ favorece la disminución de la carga de calor corporal pero no el mejoramiento de la fertilidad.

ABSTRACT

The purpose of this study was evaluate the effect of artificial cooling and progesterone (P_4) supplementation after the fixed timed artificial insemination (FTAI) on the conception rate and re-synchronization of estrus in Holstein heifers during the summer. A total of 120 heifers were randomly divided into two treatments: 1) control group, heifers under shade in open-corrals and artificially inseminated using the AM-PM rule after the estrus detected ($n=60$), and 2) treated group (Sup+E), heifers artificially cooled and FTAI with progesterone supplementation among days 17 and 22 after the AI ($n=60$). Cooling was given by 22 days, beginning with the FTAI protocol. Study variables were: respiration rate (RR), skin temperatures (ST) from rump and neck, rectal (RT) and vaginal (VT) temperature, and P_4 concentration after the FTAI (day 0, 17, 19 and 22). The treatment x time interaction affected ($P<0.05$) RT, RR and ST. In control, RT, RR and ST were higher in period 1 compared with period 2 and 3, while in Sup+E heifers was not observed differences ($P<0.05$) between periods. In general, control heifers had higher ($P<0.05$) RR, RT and TSC than Sup+ E heifers. Vaginal temperature varied ($P<0.05$) between treatment from the 11:00 until 19:00 h. Compared with control heifers, Sup+E heifers had similar ($P>0.05$) P_4 concentrations at day 0, 17 and 22 post-IA, but higher ($P<0.05$) at day 19. Conception rate to first and second service was similar ($P>0.05$) between treatments, however, Sup+E heifers presented higher ($P<0.05$) percentage of re-synchronization. In conclusion, application of artificial cooling in combination with a FTAI protocol and P_4 supplementation helped to reduce body heat load but not improved the fertility in Holstein heifer.

I. INTRODUCCIÓN

La mejor estrategia para reducir los efectos del estrés calórico es la manipulación ambiental por medio del uso de sombras o sistemas de enfriamiento. Sin embargo, este manejo no elimina por completo los problemas reproductivos asociados con el estrés calórico. Un ejemplo son algunos hatos lecheros de Arizona mantenidos en enfriamiento evaporativo durante el verano, cuyo intervalo entre parto y concepción durante el verano es entre 24 y 67 días mayor en relación al tiempo observado en el invierno (King *et al.*, 1988). Esto indica la necesidad de estrategias de manejo reproductivo adicionales, las cuales puedan combinarse con la manipulación ambiental para reducir de una manera efectiva los efectos del estrés por calor sobre la reproducción.

La detección de estros es de suma importancia cuando se requiere identificar vaquillas para ser servidas por inseminación artificial (IA). Sin embargo, en condiciones de estrés calórico la intensidad y duración del estro de vacas (Santos *et al.*, 2004) y vaquillas lecheras (Madam and Johnson, 1973, Younas *et al.*, 1993) se reduce, dificultando la detección de éste. Una estrategia para reducir este problema puede ser el uso protocolos de la inseminación artificial a tiempo fijo. Los programas de IATF ofrecen ventajas como la inducción temprana de la actividad reproductiva posparto, además de eliminar la necesidad de la detección de celos lo cual puede ser particularmente importante durante periodos de estrés calórico (Aréchiga *et al.*, 1998). La sincronización del estro antes de la primera y segunda inseminación también permite concentrar esfuerzos para incrementar la oportunidad de una detección de estro más exacta (Cliff *et al.*, 1995).

En adición a las dificultades para detectar el estro durante verano, otro problema es la muerte embrionaria a etapas tempranas de la gestación, lo cual es considerado un factor importante en la reducción de la tasa de preñez en el verano (Ealy *et al.*, 1993). La mayoría de las muertes embrionarias ocurren entre los días 3 y 7 (Putney *et al.*, 1988b), y los días 8 y 18 (Diskin and Sreenan., 1980; Roche, 1981). Entre las principales causas de la muerte embrionaria se encuentra la insuficiencia del cuerpo lúteo para producir cantidades adecuadas de progesterona, produciéndose un retraso en el desarrollo del embrión por bajos niveles de progesterona en el sistema materno (Lamming *et al.*, 1989). Wathes *et al.* (2003) encontraron que los niveles de progesterona a los días 4 y 5 de la gestación fueron de suma importancia ya que tienen una alta correlación con los niveles de interferon tau en el día 16 del ciclo, el cual inhibe la liberación de prostaglandinas $F_{2\alpha}$. Por otra parte, la progesterona es importante para estimular la producción de algunas proteínas endometriales y factores de crecimiento importantes para la sobrevivencia del embrión (Geisert *et al.*, 1992). Sin embargo, este problema puede ser revertido con la suplementación de progesterona a la madre en etapas tempranas de la preñez. La conveniencia de administrar progesterona para la sincronización del estro, así como para la suplementación de esta hormona, es facilitada grandemente por el desarrollo del CIDR, un dispositivo intravaginal conteniendo progesterona natural (McMillan and Peterson, 1993).

La re-inseminación de vaquillas no preñadas después de su primer servicio puede ser facilitada por la re-sincronización del celo, lo cual tiene las mismas ventajas de la sincronización inicial. La sincronización del estro antes de la primera

y segunda inseminación permite concentrar esfuerzos, así como incrementar la oportunidad de que vaquillas en una forma individual muestren sus síntomas de estro, lo cual mejora la oportunidad de una detección de celo más exacta (Cliff et al., 1995; Van Cleeff et al., 1996; Chenault et al., 2003; Chebel et al., 2006).

En base a lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de enfriamiento artificial en combinación con un protocolo de IATF y suplementación de progesterona exógena post-IA sobre variables fisiológicas, concentración de progesterona y tasa de concepción en vaquillas Holstein durante la época de verano. Un segundo objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación de progesterona como protocolo de re-sincronización del estro sobre la tasa de concepción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estrés

Existen dos definiciones de estrés ampliamente aceptadas, una de ellas hace referencia a la condición climática y la segunda, se enfoca en la respuesta del organismo. Stott (1981) define el término estrés como una condición ambiental adversa que afecta el confort del animal. Por otra parte, Selye (1976) menciona que el estrés es la respuesta no específica del cuerpo a cualquier demanda de fuerzas ambientales sobre estímulos o agentes estresores. Sin embargo, el estrés no sólo es producido por condiciones ambientales, sino que existen otros factores que lo provocan, tales como deficiencia nutricional, conducta social (jerarquía social) y desórdenes fisiológicos, entre otros (Stott, 1981).

El estrés induce ajustes fisiológicos que permiten la sobrevivencia de los animales que son sometidos a este evento (Yousef, 1985). Selye (1976) formuló la teoría del estrés conocida como Síndrome de Adaptación General (SAG). Esta teoría está basada en la liberación de glucocorticoides y es caracterizada por tres estados: 1) Reacción de Alarma, comprende una liberación inicial de glucocorticoides, seguida por una baja en la cantidad de glucocorticoides almacenada; 2) Estado de Resistencia, la adaptación es alcanzada y la corteza adrenal nuevamente incrementa las reservas de glucocorticoides; y 3) Estado de Agotamiento, se considera que el estado de adaptación adquirido es perdido y una baja en glucocorticoides es experimentada nuevamente. La tasa de secreción de glucocorticoides durante el estado de adaptación depende de la severidad del

estrés, el cual se relaciona inversamente con el tiempo que el estrés puede ser tolerado (Selye, 1976; Silanikove, 2000).

2.2 Zona termoneutral y estrés calórico

La zona termoneutral (zona de confort) es conocida como el rango de temperatura ambiente donde la tasa metabólica es mínima, siendo la regulación de la temperatura a través de procesos no evaporativos (Bligh y Johnson, 1973). La zona termoneutral está delimitada por el Límite Crítico Inferior (frio), y el Límite Crítico Superior (calor). Yousef (1985) menciona que el estrés calórico da inicio cuando la temperatura ambiente excede el Límite Superior Crítico de la zona termoneutral. Arias et al. (2008) mencionan que la zona de confort representa el rango en el cual la producción de calor del animal se mantiene en niveles basales. La zona de confort en el ganado lechero oscila entre 5 y 25 °C, en vaquillas de 7 a 26°C, mientras que para terneros va desde 10 hasta 21°C, en estos rangos los animales pueden expresar su máximo potencial productivo y reproductivo (Yousef, 1985).

El estrés calórico se define como cualquier combinación de condiciones ambientales que cause un aumento en la temperatura ambiental mayor al Límite Superior de la zona termoneutral de los animales (Armstrong, 1994). Los factores ambientales causantes del estrés por calor son temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento, que afectan el confort de los animales (West, 2003; Mader et al., 2006). Como respuesta a las altas temperaturas el animal requiere realizar algunos ajustes para disipar esta carga de calor y tratar de

mantener su temperatura corporal, siendo uno de los principales ajustes el incremento en la frecuencia respiratoria (Gaughan et al., 2000), en el flujo sanguíneo hacia la periferia (Huntington y Ramírez, 2002) en la sudoración y en el consumo de agua; observándose también una disminución en el consumo de alimento y del metabolismo (Fuquay 1981; Silanikove, 1992). Cuando el animal realiza estos ajustes para mantener su temperatura corporal interna, se observa un efecto negativo en su producción y eficiencia reproductiva (West, 1997; West, 2003).

Cabe mencionar que el estrés calórico no sólo depende de la temperatura ambiente sino también de la humedad relativa. En este sentido se ha desarrollado un índice que combina temperatura y humedad llamado Índice de Temperatura-Humedad (ITH) y existen diferentes fórmulas para calcularlo, pero una de las más utilizadas es la propuesta por Hahn, (1999).

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

Donde:

ITH = índice de temperatura – humedad

T_{am} = temperatura ambiental, °C

HR = %humedad relativa (expresada en decimales).

Para tener una mejor apreciación del ITH, se divide en cuatro niveles de intensidad de estrés en ganado lechero: 1) la zona de confort, se encuentra con

valores de <72 unidades, 2) entre 72 y 79 unidades se considera un estrés calórico ligero, 3) de 80 a 89 unidades se considera un estrés moderado y 4) > 90 unidades es un estrés severo, el cual puede provocar la muerte del animal (Mader et al., 2006). Armstrong (1994) menciona que un ITH > 72 empieza afectar la producción del ganado lechero negativamente.

El estrés calórico puede afectar a una gestación avanzada, ya que aproximadamente el 60% del desarrollo del feto y la mayoría del desarrollo de la glándula mamaria ocurre durante el último trimestre de la gestación. Durante los periodos de estrés calórico, existe una mayor circulación del flujo sanguíneo hacia los tejidos corporales periféricos para promover la pérdida de calor hacia el ambiente (Alexander et al., 1987). Como consecuencia, en vacas gestantes existe una reducción de la sangre circulante que va al útero y la placenta, lo que provoca una reducción de la cantidad de hormonas circulando en sangre (Collier et al., 1982b), así como una reducción del peso de la cría (Head et al., 1981), el ADN placentario total, el tamaño de la placenta y el peso del ternero (Collier et al., 1982b).

El peso al nacimiento de los terneros se ha correlacionado negativamente, en condiciones de estrés calórico, con la producción de leche durante las lactancias (Collier et al., 1982b). Tal efecto pudiera ocurrir debido a una secreción alterada de hormonas placentarias que participan en la mamogénesis y en la lactogénesis.

2.3 Intercambio de calor entre el animal y su medio ambiente

Los animales utilizan cuatro medios para intercambiar calor. En general el gradiente térmico para la pérdida de calor es reducido conforme la temperatura ambiente se incrementa a partir de temperatura mínima crítica. Este gradiente determina la dirección y tasa de transferencia de calor, lo cual es esencial para las vías de disipación de calor como lo son conducción, convección, radiación y medios evaporativos (Cena and Monteith, 1975a; Finch, 1986).

La termorregulación es el mecanismo por el cual los animales mantienen su temperatura corporal aún nivel relativamente constante bajo condiciones de alta temperatura, ya que los mecanismos van dirigidos hacia mantener un balance entre la ganancia y pérdida de calor (Fuquay, 1981). Los mecanismos pueden ser evaporativos, como sudor y respiración; y no evaporativos, como la radiación, conducción, convección (Finch, 1986).

La radiación está influenciada por el área corporal del animal, temperatura de la piel, el aire alrededor del animal y de la habilidad de la piel del animal para absorber o emitir calor (Cena and Monteith, 1975a). En el verano se da una ganancia neta de calor producida por la radiación durante el día, y una pérdida de la carga de calor, durante la noche cuando el animal irradia calor hacia el cielo (Fuquay, 1981).

La convección ocurre conforme la capa de aire en contacto con la piel es remplazada por el aire más frío. La disipación de calor por este medio depende del área corporal, la velocidad y temperatura del aire y temperatura de la piel del

animal (Cena and Monteith 1975b). La pérdida de calor por conducción está basada en el principio de que el calor es transferido de un objeto caliente a uno frío. Para lograr lo anterior, se requiere del contacto del cuerpo con el objeto, y la cantidad de calor transferido dependerá del gradiente térmico y la conductividad de las superficies en contacto (Yousef, 1985; Collier et al., 2006).

La cantidad de energía requerida para mantener una temperatura corporal constante a cualquier hora del día es menor dentro de un rango de temperatura ambiente (T_a) conocido como zona termoneutral. En esta zona el animal primeramente realiza ajustes en comportamiento y aislamiento térmico para minimizar los cambios en la temperatura corporal. Eventualmente, la T_a alcanza un punto bajo donde una mayor reducción de la T_a resulta en un incremento en el metabolismo para mantener una temperatura corporal constante. Este punto es llamado temperatura mínima crítica (TMC). Por otra parte la T_a en el límite superior de la zona termoneutral es conocida como temperatura máxima crítica (TMXC), y en este punto el animal incrementa las pérdidas de calor por medios evaporativos (Spiers, 2002).

Los mecanismos evaporativos varían de acuerdo a la especie y la raza del ganado. Por ejemplo, el ganado Bos Indicus tiene mayor facilidad para disipar calor por sudoración comparado con el Bos Taurus, lo cual es debido a que cuenta con un mayor número de glándulas sudoríparas (Finch, 1986; Carvalho et al., 1995). En general, los bovinos pierden calor por evaporación a través de dos mecanismos: 1) difusión de agua a través de la piel (sudor) y 2) pérdida de vapor de agua por el tracto respiratorio (Berman, 2005). Las pérdidas de calor por medio

del sudor se transforman en el principal mecanismo regulador de la temperatura, ya que a temperaturas de 10 a 20°C, las pérdidas de sudor son del 20%, y a temperaturas >30°C las pérdidas por este medio abarcan un 70 a 85% de las pérdidas de calor (Maia et al., 2005).

2.4 Variables fisiológicas como indicadoras del estrés calórico

2.4.1 Frecuencia respiratoria

Una respuesta importante al estrés por calor es la frecuencia respiratoria (FR) (Gaughan et al., 2000). Se tiene conocimiento, tanto en animales como en humanos, que el control de la FR tiene como función principal la eliminación de dióxido de carbono corporal, y suministrar oxígeno al mismo (Robertshaw, 1985). Sin embargo, en animales que están en estrés calórico, el motivo primordial de incrementar la FR es la pérdida de calor por el tracto respiratorio (Arias et al., 2008). Maia et al. (2005) mencionan que la pérdida de calor es aproximadamente de 15% por medio de la FR, y el resto, corresponde a otros mecanismos, tales como conducción, convección y radiación (Finch, 1986; Maia et al., 2005). La FR oscila entre 20 y 60 respiraciones por minuto en condiciones termoneutrales y de 80 a 120 en condiciones de estrés calórico moderado, cuando los animales presentan respiraciones por minuto mayores de 120 se estima que existe una carga de calor excesiva (Mount, 1979; Hahn et al., 1997).

En el ganado la FR es también uno de los mecanismos más importantes a considerar al momento de evaluar el nivel de estrés por calor, ya que es una de las principales respuestas que son visibles en el animal que está expuesto a

temperaturas por arriba de la zona de confort (Gaughan et al., 2000). La FR es influenciada por la temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa y velocidad de viento, siendo la temperatura ambiente el factor más importante (Hann, 1999). Berman et al. (1985) observaron que la FR empezó a incrementarse por encima de 50 a 60 respiraciones por minuto a temperaturas superiores de 26 °C. Sin embargo, en condiciones más extremas, esto no resulta suficiente para lograr refrescar al animal, por lo que la respiración vuelve a ser un poco más lenta pero más profunda (McGovern y Bruce, 2000).

2.4.2 Temperatura rectal

La temperatura rectal (TR) es una variable que se utiliza como un indicador de la temperatura interna bajo condiciones de estrés calórico en el ganado lechero (Johnson and Srikandakumar, 2004). Cuando se evalúa esta variable, se debe considerar el movimiento de los animales ya que esto puede incrementar la temperatura corporal entre 0.5 y 3.5°C en condiciones de temperatura altas pudiendo confundir los resultados (Mader et al., 2007). La TR promedio del ganado lechero es de 38.5°C, pero en condiciones de estrés calórico, la TR puede incrementar de 38.7 a 40.1°C (Gwazdauskas, 1985). Se ha reportado que la TR empieza a incrementarse en un rango de temperatura ambiente de 25 a 26°C en vacas lecheras, independientemente de su producción (Berman et al., 1985). Existe evidencia tanto en ganado productor de carne como de leche, de que a mayores niveles de hipertermia se obtienen menores porcentajes de concepción (Aréchiga-Flores y Hansen, 2003). Cuando la TR incrementa más de 1°C después de la inseminación artificial, puede reducir la fertilidad tanto en vacas como

vaquillas de razas lecheras (Gwazdauskas, 1985). Un estudio reportó 0 y 48% de tasa de concepción post-IA en vacas estresadas y no estresadas por calor, respectivamente (Ulberg and Burfening, 1967).

2.5 Efecto del estrés calórico sobre hormonas reproductivas

El incremento de la temperatura corporal ocasionado por el estrés calórico afecta negativamente la secreción o inhibición de las hormonas relacionadas con la reproducción (Hansen and Aréchiga, 1999). El incremento de glucocorticoides en respuesta al estrés calórico suprime la síntesis de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) a nivel de hipotálamo, y consecuentemente, la liberación de la hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) por parte de la hipófisis anterior (Roth et al., 2000; Ronchi et al., 2001). Este incremento de glucocorticoides en sangre se ha reportado en situaciones de estrés calórico agudo pero no en estrés crónico (Collier et al., 1982b).

Gilad et al. (1993) reportaron bajas concentraciones de FSH y estradiol (E_2) en vacas por efecto del estrés calórico. Por otra parte, Roth et al. (2000) señalaron que los efectos del estrés calórico en la dinámica folicular está asociado con niveles altos de FSH y bajas concentraciones de inhibina en plasma. También se ha estudiado los efectos del estrés calórico sobre el pico preovulatorio de LH, encontrándose, en vaquillas una reducción en la frecuencia y amplitud del pico de LH endógeno (Madan and Johnson, 1973). Una disminución en la frecuencia pulsátil de LH en las primeras etapas del ciclo estrual puede influir en la luteinización del cuerpo lúteo (CL) (Wise et al., 1988). La luteinización comienza

antes de la ovulación en respuesta a la elevación preovulatoria de las gonadotropinas (LH y FSH), siendo la LH la hormona más importante para la ruptura del folículo y su posterior transformación en un cuerpo lúteo (Alila and Dowd, 1997). Cabe mencionar, que el efecto del estrés calórico sobre la secreción o inhibición de las hormonas reproductivas, es muy variable a través de los estudios (Madan y Johnson, 1973; Wise et al., 1988; Wolfenson et al., 2000).

Lublin and Wolfenson (1996) indicaron que la concentración de progesterona (P_4) no solo depende de la secreción del CL, si no de la circulación sanguínea en el ovario. Además, en este estudio observaron un 30% de disminución de P_4 en conejos bajo estrés calórico. El ovario es el responsable de secretar P_4 y E_2 pudiendo ser alterados por el estrés calórico (Khodaei-Motlagh et al., 2011). También, se ha reportado que durante el desarrollo del folículo dominante en condiciones de estrés calórico, los niveles de E_2 son bajos (Wolfenson et al., 1995).

El tamaño de folículos pequeños en vaquillas bajo estrés calórico fue asociado con una concentración baja de E_2 entre los días 11 y 21 del ciclo estrual (Wilson et al., 1998). Gwazdauskas et al. (1981) encontraron que en vaquillas expuestas a temperaturas de 32°C, la duración del estro se redujo al igual que las concentraciones plasmáticas de E_2 durante la etapa de proestro y estro, en comparación de vaquillas expuestas a temperaturas de 21.3°C; concluyendo que el estrés calórico influye en la duración e intensidad del estro. Los animales que están en condiciones de estrés calórico tienen menos actividad motora reduciendo el número de montas, lo cual dificulta el detectar los celos en los animales

(Hansen and Aréchiga, 1999). En un estudio en Virginia, Nebel et al. (1997) observaron que el número de montas se redujo de 8.6 en invierno a 4.5 en verano.

Las altas temperaturas también influyen directamente sobre el endometrio uterino, induciendo la expresión de las proteínas de choque calórico HSP70 y HSP90 (Malayer et al., 1988; Malayer and Hansen 1990). El incremento de estas proteínas en el endometrio uterino puede afectar la respuesta endometrial hacia la P_4 , debido a que estas proteínas son componentes del complejo de receptores de la hormona P_4 (Smith and Toft, 1993).

Está documentado que la P_4 es la responsable de la inhibición de los mecanismos luteolíticos maternos (Mann and Lamming, 1999). Por lo tanto, un nivel bajo de P_4 en fase lútea permite la liberación de prostaglandina ($PGF_{2\alpha}$) con efectos luteolíticos sobre el CL (Mann and Lamming, 1995). La incubación del endometrio en bovinos, a temperaturas de 42°C provocó un aumento en la secreción de $PGF_{2\alpha}$, y una baja actividad en la inhibición de síntesis de $PGF_{2\alpha}$ (Putney et al., 1988a). Al parecer el incremento de la secreción de $PGF_{2\alpha}$ puede afectar el mantenimiento de la preñez temprana, lo cual puede estar relacionado con una reducida síntesis de interferon tau (proteína antiluteolítica) que causa atenuación de la secreción de $PGF_{2\alpha}$ (Wolfenson et al., 1993). Niveles bajos de P_4 en los días 3-8 siguientes a la concepción fueron asociados con embriones pequeños al día 16 de la preñez, lo cual fue asociado a una insuficiencia en la producción de interferon tau para suprimir la luteolisis. (Wolfenson et al., 1993; Mann and Lamming, 2001).

2.6 Estrategias para reducir el efecto negativo del estrés calórico

2.6.1 Protocolos de inseminación a tiempo fijo

El uso de la (IATF) para evitar los efectos negativos de estrés calórico sobre la detección del celo ha sido bastante estudiada. El utilizar algún protocolo para IATF (ejm: Ovsynch, Cosynch 72, ó Ovsynch 56) acompañados con o sin detección de celo puede mejorar la fertilidad en verano. En un estudio conducido en Florida durante los meses de verano se observo un incremento en la tasa de preñez a los 120 d posparto (27 vs 16.5% respectivamente), y una disminución en días abiertos, intervalo parto primer servicio y servicios por concepción en vacas bajo IATF en comparación con vacas inseminadas al estro (de la Sota et al .,1998). En contraste con este resultado, Aréchiga et al. (1998) no observaron mejoramiento en la tasa de preñez a primer servicio usando IATF.

Los programas de IATF han demostrado ser eficaces para incrementar los porcentajes de preñez a distintos períodos posparto en vacas multíparas durante el verano (Aréchiga et al., 1998; de la Sota et al., 1998). Otra manera de mejorar la fertilidad en verano es a través de una inyección de GnRH al momento del estro. Ullah et al.(1996) inyectaron GnRH a vacas lecheras lactando al momento de detectar el estro durante la parte final del verano en Mississippi lo cual incremento la tasa de concepción (29 vs 18%) en relación al grupo testigo.

El uso de CIDRs impregnados con progesterona en combinación con otras hormonas se han utilizado para la sincronización de celos en condiciones tropicales en cruas de ganado cebú (Palomares-Naveda et al., 2008), al igual que

en vaquillas Holstein bajo estrés calórico en verano (Correa et al., 2007). Estos Autores no observaron diferencia entre los grupos tratados con progestágenos y el grupo testigo sobre la TC, tanto en condiciones tropicales como en climas cálidos y secos. Por otra parte en climas cálidos y secos sea observado que protocolos de sincronización presentan bajas tasas de concepción. Sin embargo evaluando estos protocolos son beneficiados con enfriamiento las tasas de concepción mejoran (Correa-Calderón et al., 2009).

El uso de protocolos de IATF pueden eliminar los problemas de detección del estro causados por el estrés calórico pero no ayudan a igualar la tasa de concepción a un nivel similar al observado en climas frescos debido a un efecto severo sobre la embriogénesis (Hansen and Aréchiga 1999; Aréchiga-Flores y Hansen, 2003).

2.6.2 Manejo ambiental

2.6.2.1 Sombras

El principal propósito del uso de sombras es ayudar a reducir el impacto de la radiación solar directa o indirecta, y consecuentemente la carga de calor en los animales (Arias et al., 2008). Collier et al. (2006) señalan que la disponibilidad de sombra resulta esencial para reducir las pérdidas de producción de leche y eficiencia reproductiva. La protección contra la radiación por medio del uso de sombras, es un método clave para reducir el estrés calórico. Las sombras pueden ser naturales usando árboles, los cuales bloquean los rayos del sol y la humedad de las hojas al evaporarse permite enfriar el aire que rodea al animal (Shearer et

al., 1999). Las sombras también pueden ser construidas con materiales como: madera, aluminio y malla sombra, sin embargo, el tiempo que puede durar la madera o malla sombra es corto. La utilización de metal sólido (lámina galvanizada de acero o aluminio) es común por ser de mayor duración y requerir menos mantenimiento que otros materiales (Armstrong, 1994; Brouk et al., 2001). Se ha estimado que utilizando sombras bien diseñadas que eviten la radiación directa hacia el animal, se puede reducir hasta un 30 a 50% la carga de calor. El diseño y orientación de la sombra para ganado lechero difiere dependiendo del clima y área geográfica (Wiersma, 1982). Para la orientación Este-Oeste, se tiene una máxima cantidad de sombra para animales confinados. Por otra parte, una orientación de Norte-Sur, en animales que tienen movimiento más libre, pueden seguir la sombra y esto permitirá que los rayos solares sequen de 35 a 50% la humedad en la zona de sombra, durante la mañana y horas de la tarde (Shearer et al., 1999).

La estructura que provee sombra debe considerar una superficie de 1.85 a 3.70 m² por vaca, y estar ubicada a una altura de entre 2.5 y 4.0 m, ya que se debe considerar espacio suficiente para el movimiento del aire bajo la sombra (Arias et al., 2008). No obstante, Armstrong (1994) recomienda una altura de la sombra de 3.5 a 4.5 m para minimizar la radiación sobre la vaca, con un espacio de 4.2 a 5.6 m² por vaca lo que permite una mejor ventilación en climas cálidos y húmedos. En una investigación reciente conducida por Schutz et al. (2010), compararon un espacio de sombra de 2.4 m²/vaca vs otro de 9.6 m²/vaca y un grupo testigo (sin sombra). Estos investigadores encontraron una menor FR en los

animales con más espacio bajo la sombra. Un estudio donde se compararon grupos con y sin sombra en vacas lecheras, demostró que la FR fue reducida de 82 a 54 respiraciones por minuto en los animales que contaron con sombra (Collier et al., 2006). En otro estudio Collier et al. (1982a) reportaron que vacas sin sombra en comparación con vacas bajo sombra, no disminuyeron su concentración de P_4 , ni la cantidad de días abiertos y número de servicios por concepción. Por otra parte, durante el verano en lugares que se registran altas temperaturas, las sombras no proporcionan un total confort del animal quedando estos expuestos a las altas temperaturas del aire (Strickland et al., 1989).

2.6.2.2 Sistemas de enfriamiento

El enfriamiento por medio de aspersores y abanicos a dado buenos resultados para refrescar las vacas, principalmente en zonas cálidas y de baja humedad (Armstrong, 1994). Los sistemas de enfriamiento que están bajo sombra requieren de una gota fina para evitar que el suelo se humedezca, ya que las partículas de gota fina permanecen en el aire evaporándose antes de tocar el piso, pudiendo así enfriar el aire circulante. Algunas gotas pueden depositarse en la piel del animal para refrescarlo. Para controlar que este microclima permanezca dentro de las sombras, es importante cubrir los laterales con cortinas para proteger el movimiento del aire natural (Armstrong, 1994). En un estudio realizado por Correa et al. (2004) probaron dos sistemas enfriamiento, aspersores y ventilación y campanas evaporativas (Korral Kool) comparado con un grupo testigo, sobre la respuesta fisiológica (TR y FR) en dos razas de ganado lechero Holstein y Pardo Suizo. Estos investigadores encontraron una menor FR y TR en los animales bajo

enfriamiento, lo anterior fue observado en ambas razas. Avendaño et al. (2007) reportaron que un sistema de enfriamiento durante el periodo seco en ganado, lechero, redujo la FR (6.2 resp/min), TR ($.2^{\circ}\text{C}$), e incremento del peso al nacimiento (1.5 kg), y producción de leche (2.9 kg/d) en relación al grupo testigo. En otros estudios, Smith et al. (2006) reportaron en vacas Holstein el efecto de un túnel de enfriamiento sobre la temperatura rectal, observando una reducción de $0.6 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ en relación al grupo testigo. En Israel se ha demostrado, durante varios años de estudio que con un correcto tratamiento de enfriamiento en vacas al inicio de la lactancia, y un buen manejo de alimentación en el verano, se puede obtener niveles de producción y fertilidad similares a los de invierno (Flamenbaum, 2010). Otra estrategia al usar IA en verano es proporcionar enfriamiento para dar mejor confort al animal y por ende a los embriones al momento de la fertilización y durante el periodo crítico del embrión que son los primeros 16 días post-IA (Aréchiga y Hansen, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y duración del estudio

El experimento se realizó en las instalaciones del rancho San Carlos, dedicado a la cría de vaquillas Holstein, y cuya localización es Km 15 de la carretera Mexicali-San Felipe, en el valle de Mexicali, B.C. (32° 43", latitud norte, 30° 52" latitud sur 114° 42" y longitud este 115° 56" de longitud oeste). La región se caracteriza por presentar condiciones climáticas áridas, con temperaturas máximas en verano de 50°C y mínimas durante invierno de 0°C (García, 1985). El estudio se realizó en el año de 2010, entre los meses de julio a septiembre, y se dividió en 3 períodos. El primero comprendió del 5 al 30 de Julio, el segundo del 26 de Julio al 21 de Agosto, y el tercero del 16 de Agosto al 10 de Septiembre.

3.2 Animales experimentales y tratamientos

Se utilizaron 120 vaquillas Holstein de entre 12 y 13 meses de edad con peso promedio de 350 ± 25 kg. Las vaquillas se asignaron aleatoriamente a uno de dos tratamientos de acuerdo a su edad, peso y ciclicidad. Antes de iniciar cada periodo se tomaron 2 muestras sanguíneas con un intervalo de 10 d para determinar niveles de P_4 y conocer la cantidad de vaquillas ciclando o no al inicio del experimento. Las vaquillas con niveles de P_4 menores a 1 ng/ml en los dos muestreos se consideraron como no ciclando.

Los tratamientos fueron: 1) Grupo testigo (n=60), vaquillas provistas de sombra en la parte central del corral e inseminadas artificialmente de acuerdo con la regla AM-PM cuando forma visual se detectó en estro; y 2) grupo tratado

(Sup+E, n=60), vaquillas sometidas a enfriamiento artificial y tratadas con un protocolo de IATF plus suplementación de P₄ (Figura 1). El sistema de enfriamiento consistió de 7 abanicos colocados bajo el techo del corral en dos hileras, con separación de 3 m entre cada uno y un movimiento de aire por abanico de 180 m³/ minuto. Cada abanico tenían un diámetro de 90 cm, funcionaban con un motor de ½ HP y tenían dos válvulas para la aspersion de agua (gasto aproximado de 50 L/h por abanico). El sistema de enfriamiento operó dos veces por día, de las 10:00 a las 16:00 h y nuevamente de las 17:00 a las 19:00 h, a partir del día que se inició el protocolo de IATF hasta el día 22 post-IA. El protocolo de IATF se realizó colocando un dispositivo intravaginal CIDR-B (1.9 g, easy breed, Pfizer, México) durante 8 d (Figura 1), y en este tiempo se aplicó intramuscularmente 0.5 mg de ECP (d 0 y 8) y 25 mg de PGF_{2α} (d 7). Cuarenta y ocho horas después del retiro del CIDR, todas las vaquillas fueron IA. La suplementación de P₄ se realizó colocando nuevamente en la vagina, el CIDR previamente retirado, entre los días 17 y 22 post-IA.

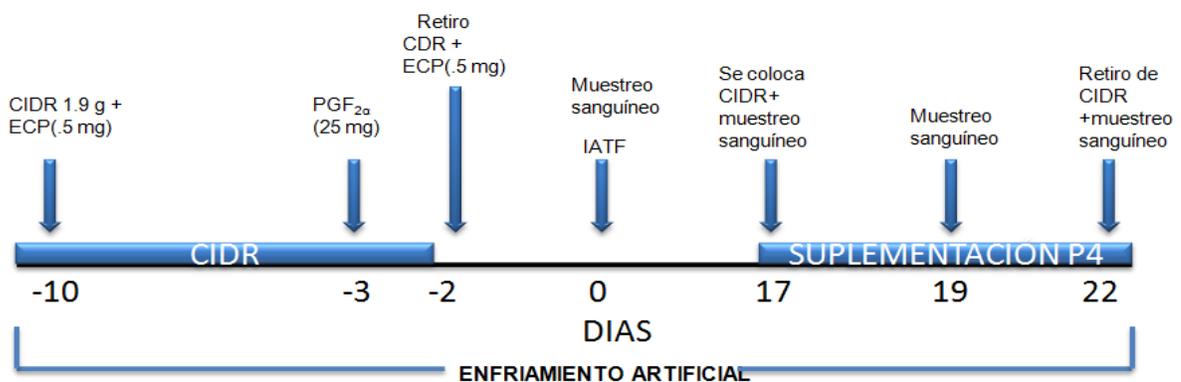


Figura1. Protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo más suplementación de progesterona (adaptado de Ambrose et al., 2005).

3.3 Instalaciones y manejo de animales experimentales

Las vaquillas se mantuvieron bajo condiciones estabuladas en dos corrales provistos de sombra, comederos y bebederos. Las dimensiones de los corrales fueron de 29.9 x 33.5 m, con una área total de 1001.55 m² correspondiendo a 21.8 m² /cabeza. En la parte norte del corral se encontraban los comederos, los cuales tenían trampas individuales unidas entre sí (0.63 m de ancho y 0.91 m de altura a partir de la pared interna del comedero). La sombra se ubicó en la parte oeste del corral, construida de lámina galvanizada y estructuras de tubo de acero, con orientación norte a sur. El área de la sombra fue de 18.14 x 5.82 m, con altura de 2.78 m y espacio de 2.6 m²/cabeza. Cada corral contaba con un bebedero de concreto en la parte sur del corral (2.5 x .95 m y .30 m de fondo). La alimentación de los animales experimentales se proporciono 3 veces al día (06:00, 09:00, 16:00) y consistió en una ración integral balanceada en base a los requerimientos nutricionales de las vaquillas (Cuadro 1).

3.4 Datos climáticos

La información climatológica fue colectada de una estación meteorológica (Vantage Pro 2, Estandart) instalada en el área de estudio, a una altura de 2.5 m sobre el nivel del piso. Se registró información de radiación solar, velocidad de viento, temperatura ambiental (Tam) y humedad relativa (HR). Con estas dos últimas variables se estimó el ITH usando la fórmula propuesta por Hahn (1999):

$$\text{ITH} = 0.81\text{Tam} + \text{HR} (\text{Tam} - 14.4) + 46.4$$

Asimismo se registro la temperatura de tres bulbos negros que fueron colocaron en diferentes lugares estratégicos: 1) bajo el techo del grupo enfriado, 2) bajo el techo del grupo sombra, y 3) a la intemperie.

3.5 Variables de estudio

3.5.1 Frecuencia respiratoria y Temperatura rectal

La FR se registró en 10 vaquillas por tratamiento contando los movimientos intercostales durante un minuto (respiraciones / minuto). La lectura de la TR se realizó a 20 vaquillas por tratamiento con un termómetro digital (FLUKE, 51 II Termómetro, Fluke Co. Everet, WA, USA). La FR y TR se registraron tres veces por semana (lunes, miércoles, viernes), entre las 1400 y 1600 h.

3.5.2 Temperatura superficie corporal

Las TSC se registraron en la parte ventral del cuello y en la anca, usando una pistola de rayo infrarrojo (Infrared Thermometer, Fluke 62 Co. Everet, WA, USA). Estas variables se midieron a las 14:00 h, tres veces por semana (lunes, miércoles, viernes).

3.5.3 Temperatura vaginal

La TV se registró en 4 vaquillas/tratamiento, colocando vaginalmente un sensor de temperatura (HOBO U-12; Onset, MA, USA), el cual fue ajustado a un CIDR de desecho que no tenía P₄. El sensor fue programado para realizar registros de temperatura cada 15 min durante 24 h, dos veces por semana (martes y jueves).

3.5.4 Tasa de concepción

La tasa de concepción se determinó realizando diagnóstico de gestación el día 30 post-IA por medio de ultrasonografía (Tringa Lineal, Pie Medical, The Netherlands). Posteriormente, se reconfirmó el diagnóstico por palpación rectal en los días 60 y 90 d post-IA. La palpación la llevó a cabo un técnico con gran experiencia.

3.5.5 Concentración de progesterona

La concentración de P_4 se determinó en suero sanguíneo los días 0, 17, 19 y 22 post-IA. Para esto, se colectaron muestras de sangre por punción de la vena coccígea (sangre venosa), usando tubos vacutainer (Becton Dickinson, Franklin Lakes). Las muestras se transportaron en una hielera hacia el laboratorio, donde se centrifugaron a 3500 g x 15 minutos, a una temperatura de 25°C. El suero fue colocado en alícuotas y almacenado a -20 °C hasta su análisis por medio de la técnica de ELISA usando un Kit comercial (Calbiotech ® CA, USA).

3.6 Análisis estadísticos

La FR, TR y las TSC se analizaron a través del procedimiento PROC MIXED usando un modelo que incluyó los efectos de tratamiento, periodo, día y sus posibles interacciones. La anidación animal dentro de periodo se utilizó como efecto aleatorio y el efecto día como medición repetida. En el caso de TV, se utilizó un modelo que incluyó efectos fijos de tratamiento, hora y la interacción tratamiento x hora. El efecto de hora se usó como medición repetida en el tiempo.

La concentración de P_4 se sometió a análisis de varianza con un modelo lineal de efectos fijos que incluyó día, tratamiento, período y todas las posibles interacciones entre factores. Debido a que los datos sobre la concentración de P_4 no presentaron una distribución normal, se les aplicó una transformación con raíz cuadrada. Se declararon diferencias significativas entre medias cuando $P < 0.05$ usando la opción PDIFF del paquete SAS (2004). Cabe mencionar que para hacer el análisis de las temperaturas, inicialmente se probaron diferentes estructuras de covarianza (no estructurada, autoregresiva de primer orden, simetría compuesta y componentes de varianza), seleccionándose la de menor valor en los criterios de información Akaike y Bayesiano (Littell et al., 1996). Así, la mejor estructura fue la de componente de varianza. La tasa de concepción se analizó con la prueba de independencia usando la distribución Ji-cuadrada con el procedimiento PROC FREQ. Todos los procedimientos utilizados se realizaron con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Datos climatológicos

El Cuadro 2 presenta los promedios de las variables climatológicas de cada período del estudio, observándose que la temperatura ambiente promedio excedió los 30°C tanto durante las horas del día como de la noche. El promedio de la temperatura del bulbo negro a las 14:00 h estuvo por arriba de 40°C, tanto en sombra como a la interperie, indicando que los animales estuvieron por arriba del punto crítico de la zona de confort que es de 25°C en ganado lechero (Yousef,1985; Armstrong, 1994). Berman et al. (1985) reportaron que el punto crítico de temperatura ambiente en donde se activan los mecanismos evaporativos para disipar el calor es entre 25 a 26°C, observándose principalmente un incremento en la tasa de sudoración. El promedio general de humedad relativa durante el día fue 34.8% y durante la noche 42.5%, considerándose valores característicos de zonas desérticas (SMN, 2010). El promedio general del ITH durante el estudio fue de 81.8 unidades en el día y 78.3 unidades por la noche. De acuerdo con Amstrong (1994), esta combinación de temperatura y humedad fueron suficientes para producir un ITH mayor de 72 unidades, que es el punto donde el ganado lechero inicia a manifestar síntomas de estrés calórico. Los valores de ITH en nuestro estudio pueden ser clasificados como de estrés calórico moderado.

La temperatura del suelo fue mayor en el corral del grupo testigo comparado con el corral del grupo Sup+E (35.7 vs. 30°C). La radiación solar

durante el estudio registró en promedio 489.6 W/m^2 . Maia et al. (2005) reportaron que la pérdida de calor cutánea se activa en un rango de radiación solar de 30 a 350 W/m^2 . Este resultado sugiere que las vaquillas usadas en este estudio, principalmente esas mantenidas solamente en sombra, no perdieron calor por evaporación de agua en la piel. Por otra parte, el promedio general de velocidad de viento fue de 2.9 m/s , lo cual se considera favorable para reducir los efectos del estrés por calor durante el verano. Esto considerando que Mader et al. (1999) y Berman (2008) indican que una velocidad de 2 m/s ayuda a la pérdida de calor corporal por convección.

4.2 Variables fisiológicas

Los resultados de las variables fisiológicas FR, TR y TSC se reportan en el Cuadro 3. La interacción período x tratamiento fue significativa ($P < 0.05$) para todas las variables fisiológicas evaluadas.

4.2.1 Frecuencia respiratoria

La FR fue mayor ($P < 0.05$) en el período 1 en relación al período 2 y 3 para vaquillas en sombra, en tanto que, en las vaquillas enfriadas artificialmente su FR no difirió ($P > 0.05$) en los tres períodos evaluados. Estudios en ganado bajo estrés calórico reportan que cuando la FR oscila entre 20 y 60 resp/min, las vacas se encuentran en condiciones termoneutrales, pero cuando incrementa de 80 a 120 resp/min, se considera las condiciones ambientales son de estrés calórico, posiblemente entre moderado y severo (Mount, 1979; Hahn et al., 1997; Gaughan et al., 1999). En vaquillas Holstein sometidas a estrés calórico usando una

cámaras ambiental, Wilson et al. (1998) reportaron una FR de 85 resp/min, FR muy similar a la observada en vaquillas testigo de este estudio. En coincidencia con los resultados de este estudio, Kendall et al. (2007) reportaron una disminución en la FR de vacas Holstein enfriadas artificialmente durante el verano comparado con vacas mantenidas solamente en sombra. Estos investigadores observaron una reducción de la FR de 30 resp/min en el grupo de aspersores con sombra en comparación al grupo solo con sombra. En el presente experimento se logró reducir en 14.1, 13.0 y 18.2 resp/min para cada periodo con el uso del equipo de enfriamiento comparado al grupo testigo, respectivamente.

4.2.2 Temperatura rectal

En congruencia con los resultados de FR, la TR varió ($P < 0.05$) entre periodos solamente en vaquillas mantenidas en sombra, siendo mayor en el período 1 que en el 2 y 3. En general, la TR fue menor ($P < 0.05$) en vaquillas enfriadas que en las no enfriadas. Christinson and Johnson (1972) definieron un estrés moderado cuando hay un incremento en la TR de 0.5°C por arriba del valor normal (38.5°C). Por lo tanto, las vaquillas de ambos grupos presentaron estrés calórico moderado ya que su TR fue superior a los 39°C . Similarmente, Mader et al. (1999) reportaron incrementos de TR en ganado de carne hasta de 39.7°C en verano, en tanto que en vacas lecheras se han encontrado TR de 40.1°C con solo sombra a ITH de 84 unidades (Wise et al., 1988). La TR en las vacas señalada anteriormente coincide con la TR de las vaquillas del primer período del grupo testigo del presente experimento, a pesar de que la vaquilla tiene un menor metabolismo por no estar en lactancia. Bourke (2003) menciona que la TR crítica

en el ganado es de 39.5°C. En condiciones de producción, se ha reportado que existe una relación negativa entre producción de leche y TR, cuando ésta excede los 39°C por más de 16 h al día (Igono and Johnson, 1990). En este estudio se puede observar que en ambos tratamientos se registraron TR por arriba de los 39°C, lo cual en vaquillas que no están en producción es elevada, afectando negativamente la fertilidad. Bajo condiciones de estrés calórico los rangos de fertilidad son de 51 a 10% cuando la TR se incrementa de 38.7 a 40.1°C y la FR es por arriba de 50 resp/min (Gwazdauskas, 1985).

4.2.3 Temperatura de la superficie corporal

Las temperaturas de la superficie corporal (cuello y anca) registraron una diferencia significativa ($P < 0.05$) en el periodo 1 a comparación de los periodos 2 y 3 para las vaquillas solo en sombra. Mientras que en vaquillas enfriadas no se observaron diferencia ($P > 0.05$) entre periodos. Recientemente, el uso de termografía infrarroja ha permitido realizar mediciones de la temperatura de la superficie corporal de una manera exacta y a bajo costo. La temperatura de la superficie corporal está altamente correlacionada con la FR y la TR, lo cual la hace una buena manera de medir el nivel de estrés calórico en el animal. Si la temperatura de la superficie corporal es por abajo de 35 °C, el gradiente entre la temperatura del cuerpo y la de la piel es lo suficientemente grande para favorecer todas las rutas de pérdida de calor (Collier et al., 2006). En este estudio, la temperatura de la superficie corporal de vaquillas en sombra estuvo 6.7 °C por arriba de los 35 °C, mientras que en vaquillas con enfriamiento fue de solo 2.7 °C

mayor, por lo que las vaquillas en este tratamiento tuvieron una mayor oportunidad de intercambiar calor con el medio ambiente.

4.2.4 Temperatura vaginal

Los promedios de la TV por tratamiento se muestran en la Figura 2. La TV difirió ($P < 0.05$) entre tratamientos, solo durante las horas del día de 11:00 a 19:00 h. El registro tanto de la TR como la TV son de gran importancia para determinar la carga de calor en los animales. En vacas, Tucker et al. (2007) estudiaron la carga de calor sobre el incremento de la TV durante las horas del día, y observaron un promedio en TV de 39.5°C a las 15:00 h, lo cual coincide con lo registrado en este estudio en el tratamiento bajo sombra (39.4°C). Similarmente, Jousan et al. (2007) registrando un pico en la TV entre las horas 15:45 y 17:30 en vacas lecheras estresadas por calor. Asimismo, Kendall et al. (2006) realizaron una investigación en vacas Holstein lactando y bajo pastoreo, las cuales fueron divididas en un grupo bajo sombra comparado a un grupo sin sombra durante el verano. Estos investigadores observaron que la TV se incrementó entre las 10:00 y 15:00 h, lo que también coincide con lo observado en el presente estudio. Ominski et al. (2002) registraron un incremento en TV de $.6^{\circ}\text{C}$ en vacas lactando expuestas a periodos cortos de estrés calórico en comparación a un grupo en zona termoneutral. En este experimento, el grupo que contó con sistema de enfriamiento por medio de aspersores de agua y abanicos mostró un mejor confort debido a una reducción ($.4^{\circ}\text{C}$) en la TV en las horas más críticas del día.

4.3 Concentración de progesterona

El Cuadro 4 muestra los resultados de las concentraciones de P_4 obtenidas en el estudio. Las concentraciones de P_4 en vaquillas enfriadas y suplementadas con P_4 fueron similares ($P>0.05$) a las concentraciones del grupo testigo al momento de la IA, a los 17 y a los 22 d post-IA, sin embargo, al día 19, la concentración de P_4 fue mayor ($P<0.05$) en las vaquillas suplementadas en comparación con vaquillas que solo contaban con sombra y no suplementadas. Meléndez et al. (2006) compararon dos protocolos de sincronización de estro en vacas lecheras y no encontraron diferencia en la concentración de P_4 al día de la IA. Los resultados observados en este estudio sugieren que en condiciones de estrés calórico, el CL formado por un celo natural y un celo sincronizado poseen una capacidad similar para secretar P_4 antes del día 17, sin embargo, algunos investigadores han demostrado que en condiciones de estrés por calor se ve afectada la funcionalidad del CL en vacas (Wise et al., 1988; Younas et al., 1993) y vaquillas (Wilson et al., 1998). Younas et al. (1993) encontraron un incremento de secreción de P_4 luteal en vacas expuestas a un sistema de enfriamiento en verano. Resultados similares fueron reportados por Wise et al. (1988) en vacas en estrés calórico, quienes observaron una tendencia a incrementar la P_4 el día 15 post-IA al proporcionar enfriamiento, comparado a un grupo testigo. En la presente investigación también se observó que en el día 19 post-IA, los niveles de P_4 fueron mayores en el grupo Sup+E en comparación con el grupo con solo sombra, debido a que en el día 17 se suplementó P_4 . En vacas ovariectomizadas (sin ovarios), se utilizando CIDRs nuevos y usados para observar el incremento de P_4

en circulación sanguínea 12 h después de la inserción del dispositivo, registrándose medias de 2.4 ± 0.20 ng/ml y 1.8 ± 0.27 ng/ml para ambos tratamientos (Van Cleeff et al., 1992). Lo registrado por estos autores se pudiera relacionar a lo encontrado al día 19 de nuestro estudio observándose entre testigo y Sup+E (5.62 ± 0.58 vs 7.53 ± 0.46 ng/ml) una diferencia de 1.91 ng/ml dos días después de colocar el dispositivo. En contraste, Beltman et al. (2009) en condiciones termoneutrales suplementaron P_4 al tercer día Post-IA a vaquillas de carne con un CIDR nuevo encontrando una concentración de 1.12 ng/ml un día después de insertado el dispositivo.

Por el contrario, la concentración de P_4 al día 22 fue similar entre ambos grupos, resultado posiblemente relacionado con una baja capacidad de liberación de P_4 del CIDR reciclado, lo cual se reflejó en los resultados encontrados en el día 22 post-IA. Diversos autores reportan que la cantidad de P_4 residual que contienen los CIDR después de ser utilizados por primera vez depende del tiempo que estén insertados en la vagina (Van Cleeff et al., 1992). Si su permanencia es de 9 d retienen alrededor de 1.1 gr de P_4 , y si permanece por 15 d retiene aproximadamente 0.9 gr (Macmillan et al., 1990; Peterson and Henderson, 1990).

Otro aspecto a considerar en cuanto a la capacidad de liberación de P_4 del CIDR es el método de desinfección. Existen reportes donde mencionan que la desinfección por medio de auto clave mantiene cantidades residuales de P_4 mayores en comparación con una desinfección a base de soluciones yodadas (Zuluaga and Williams, 2008; Pérez, 2010). Un estudio bajo condiciones de estrés calórico similares a las de este trabajo reporto que proporcionar enfriamiento y

suplementar con P_4 entre los días 17 y 22 no incremento los niveles de esta hormona en los animales tratados en relación al grupo testigo (Pérez-Velázquez et al., 2010).

4.4 Tasa de concepción

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de la TC a primer servicio por tratamientos dentro de cada período. En todos los períodos se observó que la TC a los 30, 60 y 90 d fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos. Usando los mismos tratamientos, Correa-Calderón et al. (2007) y Pérez et al. (2010) también encontraron que la aplicación de un protocolo de IATF con suplementación de P_4 y enfriamiento no mejoró la TC en vaquillas Holstein durante la época de verano. Contrariamente, Robinson et al. (1989) reportaron que en condiciones termoneutrales, la suplementación de P_4 entre los días 5 y 12 post-IA incrementa significativamente la TC. En general, los resultados de la literatura y los encontrados en este estudio sugieren que suplementar P_4 post-IA no favorece la TC, aún y cuando algunas investigaciones mencionan que esta suplementación ayuda a incrementar los niveles de P_4 en sangre y con ello, disminuir las pérdidas embrionarias tempranas (Mann and Lamming, 1999; Mann and Lamming, 2001).

Posiblemente, las fallas de la suplementación con P_4 para mejorar TC sean producto de fallas en el momento de la fertilización del óvulo, ya que las condiciones de estrés calórico pueden producir alteraciones en la secreción de E_2 y LH (Wise et al., 1988; Wilson et al., 1998; Wolfenson et al., 2000), ocasionándose una falta de sincronía entre el momento de la presentación del

estro y la ovulación (Xu and Burton, 1999). Además, las altas temperaturas también producen una redistribución del flujo sanguíneo hacia la periferia, lo cual afecta el funcionamiento endócrino del ovario (Hansen and Aréchiga 1999; Wolfenson et al., 2000). Como consecuencia de posibles alteraciones en el tiempo de ovulación post-término del protocolo de IATF, se requieren probar otros tiempos de IA diferentes al usado en este estudio (48 h), ya que este factor puede ser la explicación a la ausencia de mejoras en TC cuando se aplican protocolos de IATF basados en CIDR-ECP en condiciones de estrés calórico. En condiciones termoneutrales, Peeler et al. (2004) reportaron que la TC incrementó cuando se inseminaron vaquillas Holstein a las 56 h comparado con 48 y 72 h después de finalizado un protocolo donde usaron CIDR y ECP.

Cabe mencionar que las vaquillas del Sup+E también fueron enfriadas 8 h/d, mientras que el grupo testigo se mantuvo solo con sombra por lo que el enfriamiento tampoco favoreció una mejora en la TC. Estos resultados son contrarios a los reportados por varios estudios, donde mencionan que la aplicación de sistemas de enfriamiento en verano incrementa la TC en ganado lechero, aunque el nivel de mejora es variable. Wolfenson et al. (1988a) reportaron mejor TC en vacas Holstein enfriadas (44%) que en no enfriadas (14%) durante época de verano. En vaquillas estresadas por calor, Moghaddam et al. (2009) encontraron que el enfriamiento de 2 h antes y 2 h después de la IA incrementaba la TC comparado con un grupo testigo mantenido en sombra (56.6 vs. 23.3%) respectivamente. También, Ealy et al. (1994) proporcionaron enfriamiento a vacas de 2 a 3 d antes y de 5 a 6 d después de la IA reportando tasas de concepción de

16% para vacas con enfriamiento, y de únicamente 6%, para el grupo testigo. Por lo tanto, estos resultados sugieren que en el presente estudio, la aplicación del sistema de enfriamiento no mejoro del todo el confort de las vaquillas para mejorar la TC porque el protocolo de IATF no fue efectivo para promover la fecundación de los ovocitos.

En el Cuadro 5 se muestran las tasas de preñez a los 30, 60 y 90 d. A través de los 3 periodos, se observó que la tasa de preñez entre vaquillas testigo y sup+E fue similar ($P>0.05$).a los 30, 60 y 90 d. No obstante, el periodo 3 se observó que en ambos grupos la tasa de preñez disminuyó (7% en promedio) numéricamente del día 30 al 60. Investigaciones demostraron que en vacas suplementadas con P_4 (CIDR) post-IA, no se mejoró la preñez al primer servicio (Stevenson and Mee, 1991; El-Zarkouny and Stevenson. 2004). Por otra parte, existen reportes de pérdidas embrionarias por efectos del estrés calórico (Ealy et al., 1993; Pegorer et al., 2007). Stott y Wiersma (1976) reportaron que la eficiencia reproductiva es mayor durante la etapa inicial del verano que al final de éste, cuando los animales han sido sometidos por períodos prolongados a altas temperaturas. Estos datos coinciden con lo observado en este experimento sobre el comportamiento reproductivo en las vaquillas que estuvieron durante más tiempo expuesto a las altas temperaturas al final del verano. Schallenberger et al. (1989) observaron un incremento de la secreción de $PGF_{2\alpha}$, entre el día 30 y 36 en vaquillas preñadas, lo cual redujo la tasa de preñez. En este sentido, Putney et al. (1988a) mostraron que el tejido endometrial in vitro sometido a temperaturas elevadas produce un aumento en la liberación de $PGF_{2\alpha}$ en respuesta al estrés

calórico. Lo observado en los periodos 2 y 3 en las vaquillas que perdieron la preñez en los días 30 a 60, se podría atribuir a una secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en respuesta a las altas temperaturas que estuvieron expuestas las vaquillas principalmente al final del verano.

4.5 Re- sincronización de vaquillas Holstein no preñadas al primer servicio

En el Cuadro 6 se muestran los porcentajes de estros de vaquillas no preñadas a primer servicio y re-sincronizadas para su segunda inseminación, así como la tasa de concepción. En este estudio, el programa de re-sincronización utilizado, agrupó con éxito el retorno al estro de las vaquillas, ya que después de ser removido el CIDR, el 75% de las vaquillas repetidoras fueron inseminadas en un intervalo de 2 a 4 días después de remover el CIDR, mientras que en el grupo testigo solo un 4% fue inseminado en este mismo periodo de tiempo ($P < 0.05$). Este porcentaje de vaquillas que retornaron al estro fue superior al reportado por Van Cleeff et al. (1996) al igual Xu y Burton (1999) ya que ambos obtuvieron 60% de re-sincronización.

La tasa de concepción para las vaquillas inseminadas después de la re-sincronización fue de 32%, la cual fue solo numéricamente menor al 56% del grupo testigo ($P > 0.05$), probablemente debido al tamaño de muestra tan pequeño. Investigaciones previas sobre la utilización de CIDR para la sincronización del retorno al estro y la tasa de concepción han reportado incrementos (Chebel et al., 2006), disminución (Chenault et al., 2003) o no se han observado cambios (Galvao et al., 2007) sobre la tasa de concepción. Xu and Burton (1999) señalan que una

reducción de la tasa de concepción pudiera ser debida a que el folículo dominante se mantiene por mayor tiempo en los grupos bajo re-sincronización. En nuestro estudio, el CIDR fue removido el día 22 y la mayoría de las vaquillas fueron re-inseminadas en el intervalo de 23 a 26 d. El folículo dominante de vaquillas que normalmente retornarían al estro entre el día 19 a 21 posterior a la IA a tiempo fijo fueron mantenidos por 3 o 4 días más, lo cual ha mostrado reducir la tasa de concepción en las vaquillas de carne (Mihm et al., 1994). Por otra parte, se ha reportado que la aplicación de CIDR con asepsia inadecuada produce una irritación severa en la vagina lo cual se ha asociado con una baja tasa de concepción (Chenault et al., 2003).

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta

Ingredientes	(%)
Ensilado de sorgo	52.0
Paja de trigo molido	10.0
Revuelto de alfalfa	10.0
Alfalfa limpia	13.0
Trigo rolado	10.0
grano de destilería	3.0
Minerales (premix recría)	2.0
Composición química	(%)
Materia seca (MS)	94.9
Humedad	5.0
Proteína cruda	11.0
Extracto etéreo	2.9
Cenizas	12.0
Fibra Detergente Acido (FDA)	15.9
Fibra Detergente Neutra (FDN)	46.6

Cuadro 2. Promedios generales de variables climatológicas durante los tres períodos de estudio.

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Promedio General	rangos
	Jul/5 a Jul/30	Jul/26 a Ago/2	Ago/16 a Sep/10		
Temperatura ambiente, °C					
Día ¹	36.4	35.5	34.9	35.6	27.7 - 38.7
Noche ²	31.6	31.3	30.6	31.1	
Temperatura bulbo negro, °C					
Intemperie	44.2	43.1	42.7	43.3	34 - 47
Sombra	41.9	41.3	40.3	41.1	
Sombra enfriamiento	36.3	36.7	36.6	36.5	
Humedad relativa, %					
Día	35.8	34.3	34.3	34.8	16.6 - 60.2
Noche	43.6	42.1	41.5	42.5	
ITH unidades					
Día	82.8	81.6	81.1	81.8	74.5 – 85.3
Noche	79.3	78.7	77.0	78.3	
Temperatura del suelo, °C					
Sombra	35.9	36	35.2	35.7	29 - 39
Sombra enfriamiento	30.1	30.7	29.4	30	
Radiación solar, W/m²					
Día	490.8	495.7	482.3	489.6	0 – 852.8
Noche	0	0	0	0	
Velocidad de viento, m/s					
Día	3.7	2.9	2.3	2.9	0.41 - 5.2
Noche	3.4	3.0	2.4	2.9	

Día¹ 06:00 am 06:00 pmNoche² 07:00 pm 05:00 am

Cuadro 3. Frecuencia respiratoria, temperatura rectal y temperatura superficie corporal (cuello y anca) en los tres períodos de estudio (Media \pm EE).

	Frecuencia Respiratoria	Temperatura Rectal (°C)	Temperatura Cuello (°C)	Temperatura Anca (°C)
Testigo periodo 1	87.9 \pm 1.9 ^a	40.1 \pm 0.05 ^a	42.4 \pm 0.37 ^a	43.2 \pm 0.29 ^a
Testigo periodo 2	79.6 \pm 1.3 ^b	39.8 \pm 0.05 ^b	41.2 \pm 0.17 ^b	41.5 \pm 0.17 ^b
Testigo periodo 3	81.0 \pm 1.3 ^b	39.8 \pm 0.05 ^b	40.8 \pm 0.25 ^b	41.1 \pm 0.24 ^b
Sup+E periodo 1	73.8 \pm 1.9 ^c	39.2 \pm 0.05 ^c	37.9 \pm 0.17 ^c	37.5 \pm 0.17 ^c
Sup+E periodo 2	66.6 \pm 1.3 ^d	39.2 \pm 0.05 ^c	37.9 \pm 0.37 ^c	38.0 \pm 0.29 ^c
Sup+E periodo 3	62.8 \pm 1.3 ^e	39.2 \pm 0.05 ^c	37.6 \pm 0.19 ^c	37.5 \pm 0.20 ^c

^{abcde}, Medias con distinta dentro de columnas indican diferencia significativa (P<0.05).

Cuadro 4. Concentración de progesterona (ng/ml) a diferentes días post-IA (Media \pm EE).

Día	Testigo	Sup+E	Testigo¹	Sup+E¹
0	2.32 \pm 0.58 ^a	2.98 \pm 0.46 ^a	1.43 \pm 0.12 ^a	1.55 \pm 0.09 ^a
17	5.90 \pm 0.60 ^a	5.93 \pm 0.46 ^a	2.34 \pm 0.12 ^a	2.36 \pm 0.09 ^a
19	5.62 \pm 0.58 ^a	7.53 \pm 0.46 ^b	2.30 \pm 0.12 ^a	2.58 \pm 0.09 ^a
22	6.12 \pm 0.66 ^a	6.49 \pm 0.47 ^a	2.39 \pm 0.13 ^a	2.38 \pm 0.09 ^a

^{a,b} Medias con distinta literal dentro de hilera indican diferencia significativa (P<0.05)

¹ Datos transformados con raíz cuadrada

Cuadro 5. Tasa de concepción (%) en vaquillas Holstein a diferentes periodos de tiempo post-IA.

	30 días		60 días		90 días		Total	
	Testigo	Sup+E	Testigo	Sup+E	Testigo	Sup+E	Testigo	Sup+E
Periodo 1	45 (9/20) ^a	60 (12/20) ^a	45 (9/20) ^a	60 (12/20) ^a	45 (9/20) ^a	60 (12/20) ^a		
Periodo 2	70 (14/20) ^a	60 (12/20) ^a	65 (13/20) ^a	55 (11/20) ^a	65 (13/20) ^a	55 (11/20) ^a	53 (36/60) ^a	50 (30/60) ^a
Periodo 3	55 (11/20) ^a	45 (9/20) ^a	50 (10/20) ^a	35 (7/20) ^a	50 (10/20) ^a	35 (7/20) ^a		

^{a,b} Medias con distinta literal dentro de hilera indican diferencia significativa (P<0.05)

Cuadro 6. Tasa de concepción a primer y segundo servicio y porcentaje de vaquillas re-sincronizadas.

Tratamiento	n=	Tasa de concepción 1 ^{er} servicio, %	No. vaquillas re-inseminadas	No. vaquillas re-inseminadas 23-26 d post-IA, %	Tasa de concepción 2 ^{do} servicio, %
Testigo	60	53 (32/60) ^a	25	4 (1) ^a	56 (14/25) ^a
Sup+E	60	50 (30/60) ^a	28	75 (21) ^b	32 (9/28) ^a

^{a,b} Medias con distinta lateral dentro de columna indican diferencia significativa (P<0.05)

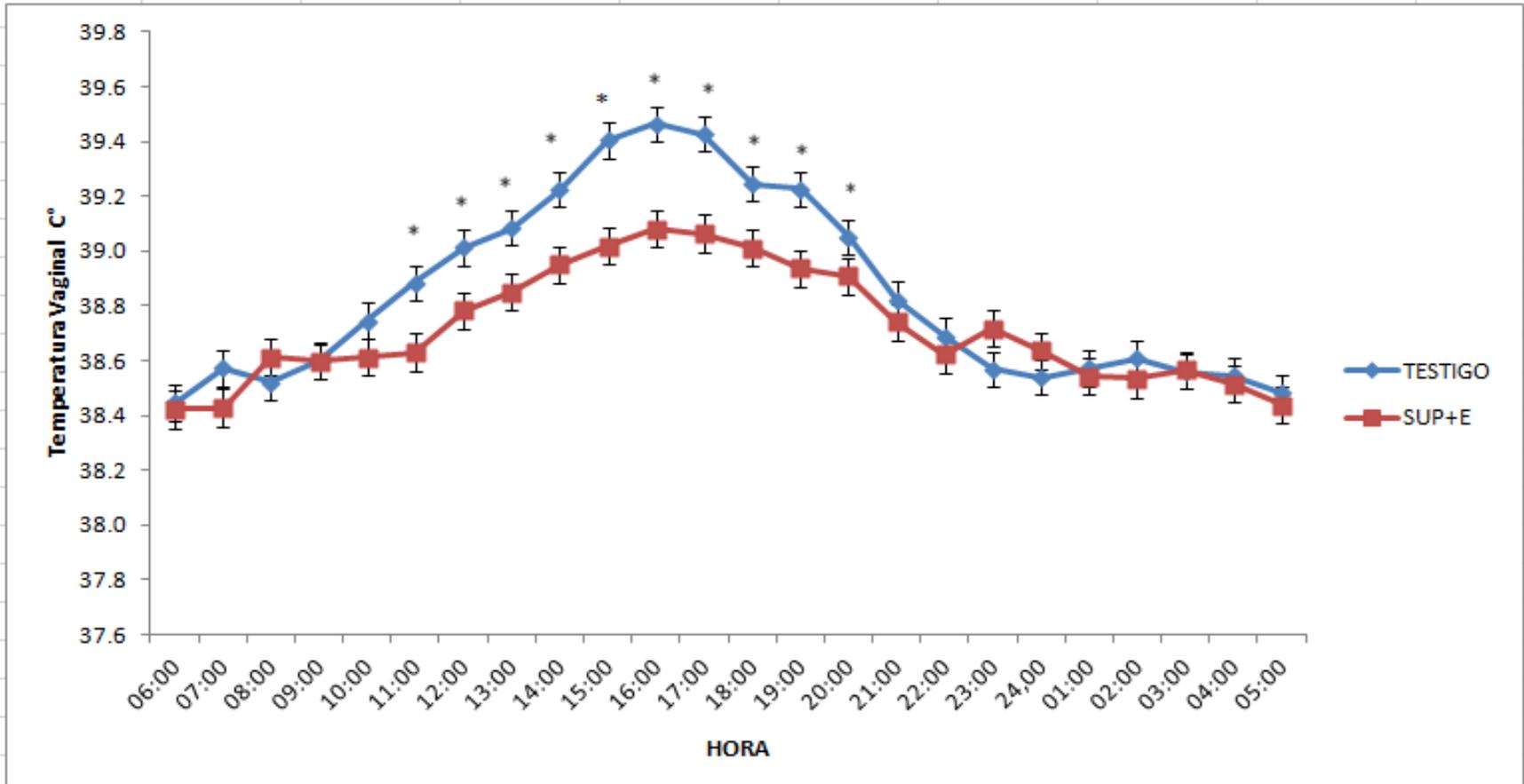


Figura 2. Promedios de temperaturas vaginales durante las horas de día y noche en vaquillas Holstein

*Diferencia significativa ($P < 0.05$).

V. CONCLUSIONES

- La tasa de concepción no mejora con la suplementación de progesterona post-IA en las vaquillas Holstein durante el verano.

- La re-sincronización en vaquillas no gestantes al primer servicio fue elevada en el grupo tratado comparado con el grupo testigo.

- Las vaquillas bajo el sistema de enfriamiento mejoraron su confort, indicado por disminuir la frecuencia respiratoria y temperatura rectal, pero no mejora la TC.

- La concentración de progesterona fue solo incrementada en el día 19 post-IA en el grupo tratado no siendo suficiente para mejorar el porcentaje de concepción.

VI. LITERATURA CITADA

- Alexander, G., J. R. S. Halens, and D. Stevens 1987. Effects of acute and prolonged exposure to heat on regional blood flow in pregnant sheep. *J. Dev. Physiol.* 9: 1-8.
- Alila, H. W., and J. P. Dowd. 1997. The control of corpus luteum function in domestic ruminant; A Review. *J. Reprod. Biology* 13: 203 - 237.
- Aréchiga, C. F., C. R. Staples, L. R. McDowell, and P. J. Hansen. 1998. Effects of timed insemination and supplemental β -carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J. Dairy. Sci.* 81: 390 – 402.
- Aréchiga-Flores, C. F., y P. J. Hansen. 2003. Efectos climáticos adversos en la función reproductiva de los bovinos. *Vet. Zac.* 2: 89 - 107.
- Arias, R. A., T. L. Mader, y P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Revisión Bibliográfica. Arch. Med. Vet.* 40: 7 - 22.
- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy. Sci.* 77: 2044 – 2050.
- 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.
- Avendaño-Reyes, L., F. D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, J. S. Saucedo-Quintero, F. Rivera-Acuña, F. J. Verdugo-Zárata, C. F. Aréchiga-Flores, y P. H. Robinson. 2007. Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el periodo seco del ganado lechero durante el verano. *Téc. Pecu. Méx.* 45: 209 - 225.
- Beltman, M., E. P. Lonergan, M. G. Diskin, J. F. Roche, and M. A. Crowe. 2009. Effect of progesterone supplementation in the first week post conception on embryo survival in beef heifers. *Theriogenology* 71: 1173 - 1179.
- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83: 1377 - 1384.
- Berman, A. 2008. Increasing heat stress relief produced by couple coat wetting and forced ventilation. *J. Dairy. Sci.* 91: 4571 – 4578.

- 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.
- Bligh, J., and K. G. Johnson. 1973. Glossary of terms for thermal physiology. *J. Appl. Physiol.* 35: 941 - 945.
- Bourke, C. A. 2003. Evidence that enforced sunlight exposure can cause hyperthermia in cattle ingesting low levels of ergot of rye (*Claviceps purpurea*), when air temperature and humidity conditions are only moderate. *J. Aust. Vet.* 81: 553 – 558.
- Brouk, M. J., J. F. Smith, y J. P. Harner. 2001. Instalaciones para Ganado lechero en climas cálidos. Memorias de XI Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Mexicali Baja California. 5 y 6 de octubre. Pp. 39 - 41.
- Carvalho, F. A., M. A. Lammoglia, M. J. Simoes, and R. D. Randel. 1995. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. *J. Anim. Sci.* 73: 3570 - 3573.
- Cena, K., and J. L. Monteith. 1975a. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biol Sci.* 188: 377 - 393
- Cena, K., and J. L. Monteith. 1975b. Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biol Sci.* 188: 395 - 411.
- Chebel, R. C., J. E. P. Santos, R. L. A. Cerri, H. M. Rutigliano, and R. G. S. Bruno. 2006. Reproduction in dairy cows following progesterone insert presynchronization protocols. *J. Dairy. Sci.* 89: 4205 - 4219.
- Chenault, J. R., J. F. Boucher, K. J. Dame, J. A. Meyer, S. L. Wood-Follis. 2003. Intravaginal progesterone insert to synchronize return to estrus of previously inseminated dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 86: 2039 – 2049.
- Christinson, G. L., and H. D. Johnson. 1972. Cortisol turnover in heat-stressed cows. *J. Anim. Sci.* 35: 1005 - 1010.
- Cliff, S. C., G. R. Morris, I. S. Hook, and K.L. McMillan. 1995. Calving patterns in dairy heifers following single “set time” insemination and re-synchrony preceding second inseminations. *Proc. NZ Soc. Anim. Prod.* 55:70 - 71.

- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, L. A. Israel and C. J. Wilcox. 1982a. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy. Sci.* 65:2213.
- Collier, R. J., G. E. Dahl, and M. J. Van Baale. 2006. Major advances associated with environmental affects on dairy cattle. *J. Dairy. Sci.* 89: 1244 - 1253
- Collier, R. J., S. G. Doelger, H. H. Head, W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1982b. Effect of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 54: 309 - 319.
- Correa, A., Hernández, A. Avendaño, L. Rivera, F. Álvarez, F. Díaz, R. Pérez, y A. Gómez, C. 2007. Evaluación de un protocolo de inseminación a tiempo fijo combinado con suplementación de progesterona en vaquillas holstein durante el verano. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/118-Correa_IA_Fijo.pdf consultada 15 de febrero del 2011
- Correa-Calderon, A., D. Armstrong, D. Ray, S. De Nise, M. Enns, and C. Howison. 2004. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int. J. Biometeorol.* 48: 142 – 148.
- Correa-Calderón, A., G. des Santos, L. Avendaño, F. Rivera, D. Alvarez, F.Ardon, R. Diaz y R. Collier. 2009. Enfriamiento artificial y tasa de concepción de vaquillas Holstein con estrés térmico. *Arch. de Zootec.* 58: 231 - 239.
- de la Sota, R. L., J. M. Burke, C. A. Risco, F. Moreira, M. A. DeLorenzo, and W. W. Thatcher. 1998. Evaluation of timed insemination during summer heat stress in lactating dairy cattle. *Theriogenology* 49:761 – 770.
- Disking, M. G., and J. M. Sreenan. 1980. Fertilization and embryonic mortality rates in beef heifers after artificial insemination. *J. Reprod. Fertil.* 59: 463 - 468.
- 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.
- 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.
- El-Zarkouny, S. Z. and J. S. Stevenson. 2004. Resynchronizing estrus with progesterone or progesterone plus estrogen in cows of unknown pregnancy status. *J. Dairy. Sci.* 87: 3306 - 3321.

- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62: 531 - 542.
- Flamenbaum, I. 2010. Relación costo-beneficio de la implementación de sistemas de enfriamiento para vacas altas productoras en clima cálido. Memorias de XX Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Mexicali Baja California. 7 y 8 de octubre. Pp. 29 - 32.
- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.* 52: 164 - 174.
- Galvao, K. N., J.E.P. Santos, R. L. Cerri, R. C. Chebel, H. M. Rutigliano, R. G. Bruno, and R. C. B. Calho. 2007. Evaluation of methods of resynchronization for insemination in cows of unknown pregnancy status. *J. Dairy. Sci.* 90: 4240 - 4252.
- García, E. 1985. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Koeppen (adaptado a las condiciones de la república mexicana). 2da ed. México, DF: Instituto de Geografía, UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gaughan, J. B., S. M. Holt, G. L. Hahn, T. L. Mader, and R. Eigenberg, 2000. Respiration rate – Is It a good measure of heat stress in cattle? *J. Anim. Sci.* 13: 329 - 332.
- 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.
- Geisert, R.D., G. L. Morgan, E.C. Short, and M.T. Zavy. 1992. Endocrine events associated with endometrial function and conceptus development in cattle. *Reprod. Fertil. Dev.* 4: 301 - 305.
- Huntington G. B., y Ramírez E.B. 2002. Flujo de sangre y respuestas endocrinológicas al estrés calórico. Memorias de XII Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Mexicali Baja California. 3 y 4 de octubre. Pp. 9 - 11.
- Gilad, E., R. Meidan, A. Berman, Y. Graber, and D. Wolfenson. 1993. Effect of heat stress on tonic and GnRH-induced gonadotrophin secretion in relation to concentration of oestradiol in plasma of cyclic cows. *J. Reprod. Fert.* 99: 315 - 321.
- Gwazdauskas, F. C. 1985. Effects of climate on reproduction in cattle. *J. Dairy Sci.* 68: 1568 - 1578.
- Gwazdauskas, F. C., W. W. Thatcher, C. A. Kiddy, M. J. Paape, and C. J. Wilcox. 1981. Hormonal patterns during heat stress following PGF₂-tham salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology* 16: 271 - 285.

- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77: 10 – 20.
- Hahn, G. L., A. M. Parkhurst, and J. B. Gaughan. 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. Presented at ASAE Mid-Central Mtg. April 11 – 12
- Hansen, P. J., and C. F. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J. Dairy Sci.* 77: 36 - 50.
- Head, H. H., P.O. Schick, C. J. Wilcox. 1981. Interrelationships of physical measures of placenta, cow and calf. *J. Dairy. Sci.* 64:161(Abstr).
- Igono, M. O., and H. D. Johnson. 1990. Physiologic stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature. *J. Interdiscipl. Cycle Res.* 21: 303 – 320.
- Johnson, E.H., and A. Srikandakumar. 2004. Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian milking zebu cows. *Trop. Anim. Health. Prod.* 36: 685 - 692.
- Jousan, F. D., L .A. de Castro e Paula, J. Block, and P.J. Hansen. 2007. Fertility of lactating dairy cow administered recombinante bovine somatotropina during heat stress. *J. Dairy. Sci.* 90: 341 - 351.
- Kendall, P. E., G. A. Verkerk, J. R. Webster, and C. B. Tucker. 2007. Sprinkler and shade cool cows and reduce insect-avoidance behavior in pasture-based dairy systems. *J. Dairy. Sci.* 90: 3671 - 3680.
- Kendall, P. E., P. P. Nielsen, J.R. Webster, G. A. Verkerk, R.P. Littlejohn, and L. R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperature climate. *Livest. Sci.* 103: 148 - 157.
- Khodaei-Motlagh, M., A. S. Zare, R. Masoumi, and D. Fabio. 2011. Alterations in reproductive hormone during heat stress in dairy catte. A Review. *African. Biotec.* 29: 5552 - 5558.
- King, V. L., S. K. DeNise, D.V. Armstrong, M. Torabi, and F. Wiersma. 1988. Effects of a hot climate on the performance of first lactation Holstein cows grouped by coat color. *J. Dairy Sci.* 71: 1093 - 1096.
- Lamming, G. E., A. O. Darwash, and H. L. Back. 1989. Corpus luteum function in dairy cows and embryo mortality. *J. Reprod. Fertil.* 37: 245 - 252.

- Littell, R. C., G. A. Miliken, W. W. Stroup, and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. Pp. 633. SAS Institute Inc. Cary. NC.
- Lublin, A., and D. Wolfenson. 1996. Lactation and pregnancy effects on blood flow to mammary and reproductive systems in HS rabbits. *Comp. Biochem. Physiol.* 115: 277 – 285.
- Macmillan, K. L., S. P. Washburn, H. V. Henderson, S. F. Petch. 1990. Effects of varying the progesterone content of CIDR intravaginal devices and multiple CIDR treatment on plasma hormone concentrations and residual hormone content. *Proc. NZ. Soc. Anim. Prod.* 50: 471 - 472.
- Mcmillan, K. L., and A. J. Peterson. 1993. A new intravaginal progesterone releasing device for cattle (CIDR-B) for oestrus synchronization, increasing pregnancy rates and the treatment of post-partum anoestrous. *Anim. Reprod. Sci.* 33:1 - 25.
- Madan, M. L., and H. D. Johnson, 1973. Enviromental heat effects on bovine luteinizing hormone. *Anim. Reprod. Sci.* 13: 1420 - 1423.
- Mader, T. L., G. Griffin, L. Hahn. 2007. Managing feedlot heat stress. Nebguide G1409 University of Nebraska.
- Mader, T. L., J. M. Dahlquist, G. L. Hahn, and J. B. Gaughan. 1999. Shade and wind barrier effects on summer-time feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 77: 2065 – 2072.
- Mader, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 712 – 719.
- Maia. A. S. C., R. G. daSilva, and C. M. L. Battiston. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 50: 17 - 22.
- Malayer, J. R., and P. J. Hansen. 1990. Differences between Brahman and Holstein cows in heat-shock induced alterations of protein synthesis and secretion by oviducts and uterine endometrium. *J. Anim. Sci.* 68: 266 - 280.
- Malayer, J. R., P. J. Hansen, and W. C. Buhi. 1988. Effect of day of the oestrus cycle, side of the reproductive tract and heat shok on invitro protein secretion by bovine endometrium. *J. Reprod. Fertil.* 84: 567 - 578.
- Mann, G. E., and G. E. Lamming. 1995. Progesterone inhibition of the development of the luteolytic signal in cows. *J. Reprod. Fertil.* 104: 1 - 5.

- Mann, G. E., and G. E. Lamming. 1999. The influence of progesterone during early pregnancy in cattle. *Reprod. Dom. 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. *J. Reprod. Fertil.* 121: 175 - 180.
- Melendez, P., G. Gonzalez, E. Aguilar, O. Loera, C. Risco, and L.F. Archbald. 2006. Comparison of two estrus-synchronization protocols and timed artificial insemination in dairy cattle. *J. Dairy. Sci.* 89: 4567 – 4572.
- McGovern, R. E., and J. M. Bruce. 2000. A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *J. Agric. Eng. Res.* 77: 81 - 92.
- 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.
- Moghaddam, A., I. Karimi, and M. Pooyanmehr. 2009. Effects of short-term cooling on pregnancy rate of dairy heifers under summer heat stress. *Vet. Res. Commun.* 33: 567 - 575.
- Mount, L. E. 1979. *Adaptation to thermal environment: man and his productive animals.* University Park Press, Baltimore, MD.
- Nebel, R. L., S. M. Jobst, M. B. G. Dransfield, S. M. Pandolfi, and T. L. Bailey. 1997. Use of radio frequency data communication system, Heatwatch®, to describe behavioral estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 80: 179 (Abstr.).
- Ominski, K.H., A.D. Kennedy, K.M. Wittenberg and S.A. Moshtaghi Nia. 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J. Dairy. Sci.* 85: 730 - 737.
- Palomares-Naveda, R., A. Portillo-Martinez, G. Gutierrez-Añez, J. C. De Ondiz-Sanchez, A. Goicochea-Llaque, L. Gonzalez-Fernandez, R. Perea-Ganchou, F. Soto-Belloso, E. 2008. Treatment with an intravaginal progestagen and estradiol to prevent prolonged anestrus in crossbred zebu cows under tropical conditions. *J. Anim. Health. Prod.* 40: 39 - 46.
- Peeler, I. D., R. L. Nevel, R. E. Pearson, W. S. Swecker, and A. Garcia. 2004. Pregnancy rates after timed AI of heifers following removal of intravaginal progesterone inserts. *J. Dairy. Sci.* 87: 2868 – 2873.
- Pegorer, M. F., J. Z. M. Vasconcelos, L. A. Trinca, P. J. Hansen, and C. M. Barros. 2007. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Holstein) on establishment of

pregnancy and embryonic loss in lactating Holstein cows during summer heat stress. *Theriogenology* 67: 692 – 697.

Pérez, L. E. 2010. Uso del dispositivo CIDR reciclado efecto de su esterilización mediante autoclave en los niveles de progesterona liberados en cabras sometidos a tratamientos cortos. Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pp. 42 - 46.

Pérez-Velázquez, R., Correa-Calderón, A. Avendaño-Reyes, L. Contreras-Campos, A. Macías-Cruz, U. y Díaz-Molina, R. 2010. Evaluación de dos programas de suplementación de progesterona combinados con enfriamiento artificial sobre la fertilidad de vaquillas lecheras durante el verano. Memorias de XX Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Mexicali Baja California, 7 y 8 de Octubre. Pp. 422 - 428.

Peterson, A. J., and H. C. Henderson. 1990. Plasma progesterone concentrations in ovariectomized dairy cows treated with a CIDR-B breeding device. *J. Reprod. Fertil.* 43: 315 (Abstr.).

Putney, D. J., J. R. Malayer, T. S. Gross, W. W. Thatcher, P. J. Hansen, and M. Drost. 1988a. Heat stress-induced alterations in the synthesis and secretion of proteins and prostaglandins by cultured bovine conceptuses and uterine endometrium. *Biol. Reprod.* 39: 717 - 728.

Putney, D. J., M. Drost, and W. W Thatcher. 1988b. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed elevated temperatures between days 1 to 7 post insemination. *Theriogenology* 30: 195 – 209.

Robertshaw, D. 1985. Heat loss of cattle. IN Volumen I: Stress Physiology in livestock Basic Principles, Florida: CR. Press. Pp.55 - 66.

Robinson, N. A., N. 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.

Roche, J. F. 1981. Reproductive wastage following artificial insemination of heifers. *Vet. Rec.* 109:401 - 404.

Ronchi, B.,G. Stradaioli, A. S. Verini, U. Bernabucci, N. Lacetera, P. A. Accorsi, A. Nardone, and E. Seren. 2001. Influence of heat or feed restriction on plasma progesterone, oestradiol-17 β , LH, FSH, prolactin and cortisol in Holstein heifers. *Livest. Prod. Sci.* 68: 231 - 241.

- Roth, Z., R. Meidan, R. Braw-Tal, and D. Wolfenson. 2000. Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *J. Reprod. Fert.* 120: 83 - 90.
- Santos, J. E.P., W. W. Thatcher, R. C. Chebel, R. L. A. Cerri, and K. N. Galvao. 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83: 513 - 535.
- SAS. 2004. SAS/STAT Users Guide, version 9.1.3, Cary, NC: SAS Institut Inc.USA.
- Schallenberger, E., D. Schams, and H. H. D. Meyer. 1989. Sequences of pituitary, ovarian and uterine hormone secretion during the first 5 weeks of pregnancy in dairy cattle. *J. Reprod. Fert. (Suppl)*.37: 277 – 286.
- Schutz, K. E., A. R. Rogers, Y. A. Pouloni, N. R. Cox, and C. B. Tucker. 2010. The amount of shade influences on the behavior and physiology of dairy catte. *J. Dairy. Sci.* 93: 125 - 133.
- Selye, H. 1976. Forty years of stress research: principal remaining problems and misconceptions. *J. CMA.* 115: 53 - 56.
- Shearer, J. K., Beede, D. K. Bray, D. R. Bucklin, and R. A. 1999. Managing during heat stress. Tri-Sri-State Dairy Nutrition Conference. April 20-21-Pp.98 - 110.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensive managed domestic ruminants. A Review. *Livest. Prod. Sci.* 67: 1 - 18.
- Silanikove, N.1992. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: A Review. *Livest. Prod. Sci.* 30: 175 - 194.
- Smith, D. F. and D. O. Toft. 1993. Steroid receptors and their associated proteins. *J. Mol. Endocrinol.* 7: 4 - 12.
- Smith, T. R., A. Chapa, S. Willard, C. Jr. Herndon, R. J. Williams, J. Crouch, T. Riley, and D. Pogue. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the Southeast. 1: effect on body temperature and respiration rate. *J. Dairy Sci.* 89:3904 - 3919.
- SMN. 2010. Sistema Meteorológico Nacional. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=208&Itemid=118. Consultada el 10 de mayo.
- Spiers, E. D. 2002. Nuevas alternativas para medir y reducir el estrés calórico en ganado bovino. Memorias de XII Reunión internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos. Mexicali Baja California. 3 y 4 de octubre. Pp.57 - 64.

- Stevenson, J. S., and M. O. Mee. 1991. Pregnancy rates of Holstein cows after postinsemination treatment with a progesterone-releasing intravaginal device. *J. Dairy. Sci.* 74: 3849 – 3856.
- Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how it is measured?. *J. Anim. Sci.* 52: 150 - 153.
- 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.
- Strickland, J. T., R. A. Bucklin, R. A. Nordstedt, D. K. Beede, and D. R. Bray. 1989. Sprinkler and fan cooling systems for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.* 5: 231 – 236.
- Tucker, C. B., A. R. Rogers, and E. K. Schutz 2007. Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109: 141 – 154.
- Ulberg, L. D., and P. J. Burfening. 1967. Embryo death resulting from adverse environment on spermatozoa or ova. *J. Anim. Sci.* 26: 571 – 577.
- Ullah, G., J. W. Fuquay, T. Keawkhong, B. L. Clark, D. E. Pogue, and E. J. Murphey. 1996. Effect of gonadotropin-releasing hormone at estrus on subsequent luteal function and fertility in lactating Holsteins during heat stress. *J. Dairy. Sci.* 79: 1950 - 1953.
- Van Cleef, J., Macmillan, K. L. Drost, M. Lucy, M. C. Thatcher, W. W. 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.
- Van Cleeff, J., M. C. Lucy, C. J. Wilcox, and W. W. Thatcher. 1992. Plasma and milk progesterone and plasma LH in ovariectomized lactating cows with new or used controlled internal drug release devices. *Anim. Reprod. Sci.* 27: 91 - 106.
- Wathes, D. C., B. J. Taylor, Z. Cheng, and G. E. Mann. 2003. Follicle growth, corpus luteum function and their effect on embryo development in postpartum dairy cows. *Reproduction Suppl.* 61: 219 - 237.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131 – 2144.
- West, J. W. 1997. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77:21 - 35.

- Wiersma, F. 1982. Shades for dairy cattle. Univ. Ariz. Ext. Serv. WREP 51, Univ, Arizona, Tucson.
- Wilson, S. J., C. J. Kirby, 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.
- Wise, M. E., R. E. Rodriguez, D. V. Armstrong, J.T. Huber, F. Wiersma, and R. Hunter. 1988. 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., O. Luft, A. Berman, and R. Meidan. 1993. Effects of season, incubation temperature and cell age on progesterone and prostaglandin $F_{2\alpha}$ production in bovine luteal cells. *Anim. Reprod. Sci.* 32: 27 – 40.
- Wolfenson, D., W. W. Thatcher, L. Badinga, J. D. Savio, R. Meidan, B. J. Lew, BrawTal, 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.Reprod.Sci.*60: 535 - 547.
- 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.
- 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.
- Yousef, M. K. 1985. Stress physiology in livestock. Basic Principles. (Ed). Vol.1.CRC. Press, Boca Raton, FL, Pp 4 - 67.
- Zuluaga., J. F.and G. L. Williams. 2008. High pressure steam sterilization of previously used CIDR inserts enhances the magnitude of the acute increase in circulating progesterone after insertion in cows. *Anim. Reprod Sci.* 107: 30 - 35.

Cuadro 1. Promedios de temperaturas vaginales (°C) de vaquillas Holstein durante el estudio experimental.

HORA	Testigo	Sup+E
06:00 am	38.4 ^a	38.4 ^a
07:00 am	38.6 ^a	38.4 ^a
08:00 am	38.5 ^a	38.6 ^a
09:00 am	38.6 ^a	38.6 ^a
10:00 am	38.7 ^a	38.6 ^a
11:00 am	38.9 ^a	38.6 ^b
12:00 pm	39.0 ^a	38.8 ^b
01:00 pm	39.1 ^a	38.9 ^b
02:00 pm	39.2 ^a	39.0 ^b
03:00 pm	39.4 ^a	39.0 ^b
04:00 pm	39.5 ^a	39.1 ^b
05:00 pm	39.4 ^a	39.1 ^b
06:00 pm	39.2 ^a	39.0 ^b
PROM. DÍA	39.0^a	38.8^a
07:00 pm	39.1 ^a	38.9 ^a
08:00 pm	39.0 ^a	38.9 ^b
09:00 pm	38.7 ^a	38.7 ^a
10:00 pm	38.7 ^a	38.6 ^a
11:00 pm	38.5 ^a	38.5 ^a
12:00 pm	38.5 ^a	38.5 ^a
01:00 am	38.5 ^a	38.4 ^a
02:00 am	38.5 ^a	38.5 ^a
03:00 am	38.6 ^a	38.6 ^a
04:00 am	38.5 ^a	38.5 ^a
05:00 am	38.5 ^a	38.4 ^a
PROM. NOCHE	38.6^a	38.6^a
PROM GENERAL	38.8^a	38.7^a

^{a, b} medias con distinta literal en columna indican diferencia significativa (P<0.05)

Día 06:00 am a 06:00 pm

Noche 07:00 pm a 05:00 am

Cuadro 2. Concentración de progesterona (ng/ml) a diferentes días post-IA en vaquillas no gestantes (Media \pm EE).

Día	Testigo	Sup+E	¹Testigo	¹Sup+E
0	2.78 \pm 0.58 ^a	2.64 \pm 0.52 ^a	1.54 \pm 0.13 ^a	1.47 \pm 0.11 ^a
17	6.25 \pm 0.83 ^a	4.28 \pm 0.50 ^b	2.39 \pm 0.14 ^a	2.00 \pm 0.11 ^b
19	4.98 \pm 0.73 ^a	5.44 \pm 0.50 ^a	2.12 \pm 0.16 ^a	2.21 \pm 0.11 ^a
22	3.45 \pm 0.92 ^a	3.83 \pm 0.50 ^a	1.80 \pm 0.20 ^a	1.82 \pm 0.11 ^a

^{a,b} medias con distinta literal en columna indican diferencia significativa (P<0.05)

¹ transformación raíz cuadrada

Cuadro 3. Concentración de progesterona (ng/ml) a diferentes días post-IA en vaquillas gestantes (Media \pm EE).

Día	Testigo	Sup+E	¹Testigo	¹Sup+E
0	2.47 \pm 0.57 ^a	3.10 \pm 0.39 ^a	1.42 \pm 0.17 ^a	1.59 \pm 0.12 ^a
17	5.39 \pm 0.83 ^a	7.52 \pm 0.63 ^b	2.28 \pm 0.15 ^a	2.68 \pm 0.11 ^b
19	6.27 \pm 1.04 ^a	9.24 \pm 0.84 ^b	2.44 \pm 0.17 ^a	2.92 \pm 0.14 ^b
22	6.80 \pm 1.03 ^a	9.80 \pm 0.87 ^b	2.56 \pm 0.16 ^a	3.03 \pm 0.13 ^b

^{a,b} medias con distinta literal en columna indican diferencia significativa (P<0.05)

¹ transformación raíz cuadrada

Cuadro 4. Frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura superficie corporal (cuello y anca) durante el estudio experimental (Media \pm EE).

	Frecuencia Respiratoria	Temperatura Rectal °C	Temperatura Cuello °C	Temperatura Anca °C
Testigo	82.8 \pm 0.81 ^a	39.9 \pm 0.02 ^a	41.4 \pm 0.16 ^a	41.9 \pm 0.14 ^a
Sup+E	67.7 \pm 0.81 ^b	39.2 \pm 0.02 ^b	37.8 \pm 0.15 ^b	37.6 \pm 0.13 ^b

^{a,b} Medias con distinta lateral en hilera indican diferencia significativa (P<0.05)

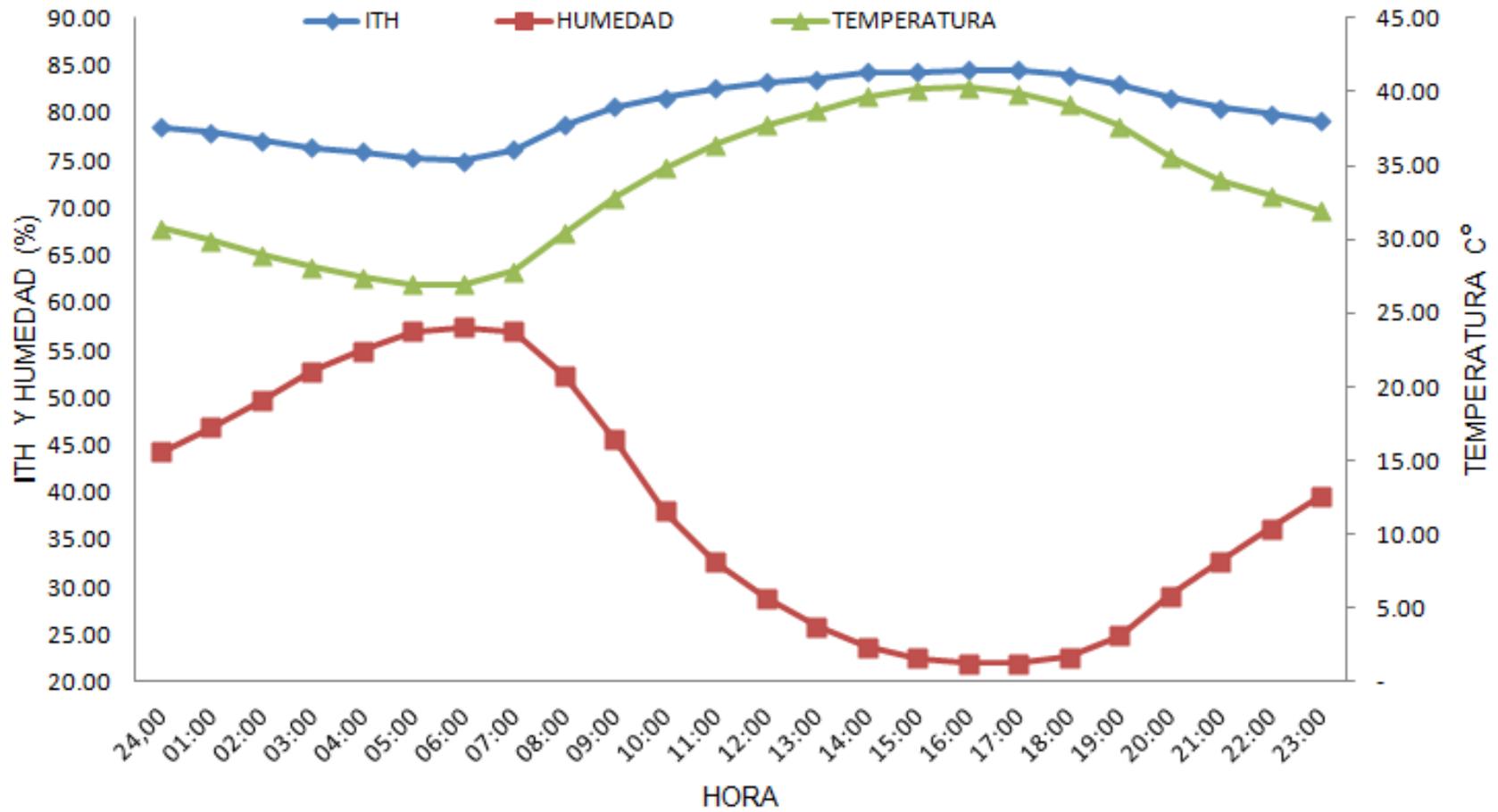


Figura 1. Promedios de ITH, humedad relativa y temperatura ambiente en las horas de día y noche durante el estudio experimental

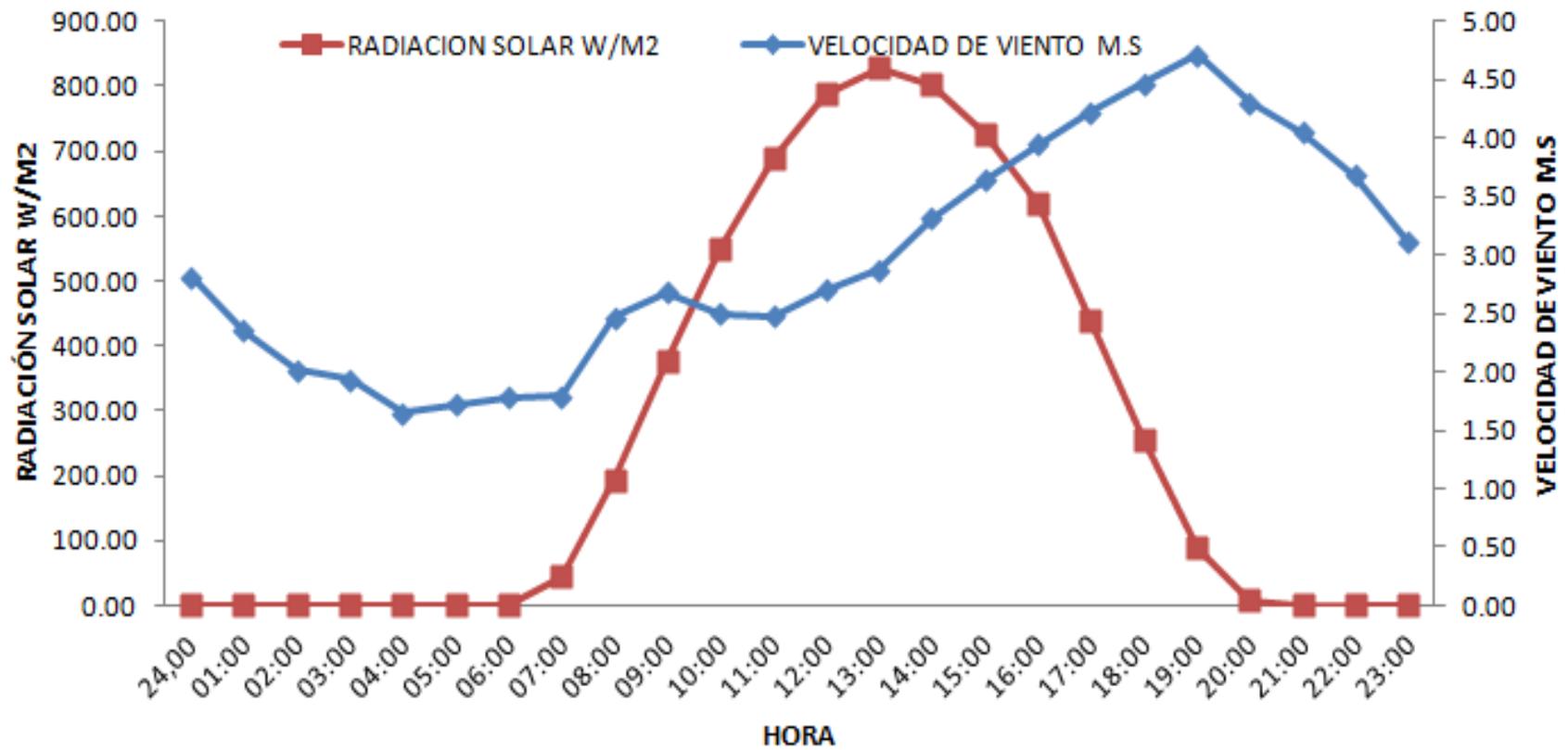


Figura 2. Promedios de radiación solar y velocidad de viento en las horas de día y noche durante el estudio experimental.

