

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**



**INFLUENCIA DE LA ESTACIONALIDAD EN LA FERTILIDAD DE
VACAS HOLSTEIN ALTAS PRODUCTORAS**

ABEL EDMUNDO VILLA MANCERA

**TESIS QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN BIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN ANIMAL**

IZTAPALAPA, DISTRITO FEDERAL

2002

La presente tesis titulada: **Influencia de la Estacionalidad en la Fertilidad de Vacas Holstein Altas Productoras**, realizada por el alumno **Abel Edmundo Villa Mancera**, ha sido aprobada y aceptada por el Jurado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN ANIMAL

JURADO

PRESIDENTE

DR. MARIO PÉREZ MARTÍNEZ



SECRETARIO

M. en C. MARÍA TERESA JARAMILLO JAIMES



VOCAL

M. en C. JORGE IVÁN OLIVERA LÓPEZ



Iztapalapa, Distrito Federal a 21 de Noviembre de 2002

ESTA TESIS FUE REALIZADA EN EL LABORATORIO DEL AREA DE INVESTIGACIÓN APLICADA DE EL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD IZTAPALAPA, COMO PARTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACION “EFECTO DE LA MELATONINA EN EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DURANTE EL PREPARTO Y POSTPARTO TEMPRANO EN VACAS HOLSTEIN” BAJO LA DIRECCIÓN DE : M. en C. JORGE IVÁN OLIVERA LÓPEZ y M. en C. MARÍA TERESA JARAMILLO JAIMES.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo parcial para la realización de esta tesis, así como por la beca otorgada para financiar mis estudios de la Maestría en Biología de la Reproducción Animal.

DEDICATORIA

A mis padres:

Quienes me han dado el mejor de los regalos: la vida; y por su dedicación y esfuerzo en lograr mi formación como persona y ser humano, siempre los llevare en mi mente.

A mis hermanos:

Por el apoyo y estímulo para seguir adelante.

A la abuela:

Por sus consejos y atenciones para conmigo.

A los amigos:

Por estar ahí cuando los he necesitado.

Un agradecimiento especial:

Al M. en C. Jorge Iván Olivera y la M. en C. María Teresa Jaramillo Jaimes que con su paciencia y consejos me guiaron a la culminación de este estudio.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	29
MATERIALES Y METODOS	
Descripción de la zona de trabajo	30
Datos metereológicos	30
Datos de fotoperíodo	31
Índice temperatura humedad	31
Análisis de datos de los registros reproductivos	31
Detección de estro y momento de la Inseminación Artificial	32
Diagnóstico de preñez	32
Animales y manejo	32
Análisis estadístico	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Estacionalidad y fertilidad	34
Variables climáticas y fertilidad	40
CONCLUSIONES	49
LITERATURA CITADA	50

INFLUENCIA DE LA ESTACIONALIDAD EN LA FERTILIDAD DE VACAS HOLSTEIN ALTAS PRODUCTORAS

RESUMEN

Se evaluó la fertilidad mensual de vacas Holstein altas productoras a lo largo del año, durante el período comprendido de 1991-2000, para ello se utilizaron los datos de los registros de 24,380 inseminaciones artificiales. El estudio se efectuó en el rancho "La Quinta" en Actopan, Estado de Hidalgo, que está localizado a una altitud de 1980 msnm, con un clima semi seco templado. Se hizo un análisis de varianza de mínimos cuadrados, así como un diseño de mediciones repetidas en el tiempo para evaluar la fertilidad y las variables climáticas. La media del porcentaje de fertilidad durante el estudio fue de 34.19, la tasa de menor éxito corresponden a los meses de mayo a septiembre (finales de primavera y durante el verano), y de mayor éxito de octubre a abril (principio de otoño e invierno, meses con fotoperíodo de días cortos). Estadísticamente encontramos que las estaciones invierno-otoño del periodo 1991-2000, y las estaciones a lo largo del período de estudio resultaron ser significativas ($p < 0.01$); mientras que los meses que comprenden las estaciones del año no fueron significativas. El análisis de varianza para el porcentaje de fertilidad no mostró diferencias para las horas luz ($p > 0.05$). El efecto de las estación seca (noviembre-marzo) y de lluvias (abril-octubre) sobre la fertilidad resultó significativa ($p < 0.05$). El análisis de correlación mostró que para la variable fertilidad, la temperatura mínima, tuvo una $r = -0.82$ así como, $r = -0.86$ para la precipitación.

La humedad relativa media y mínima y velocidad del viento media tuvieron una r de -0.69, -0.65; y -0.65 respectivamente, lo que muestra una fuerte correlación de estas variables con la fertilidad. Los resultados muestran que la temperatura máxima y mínima, la humedad relativa mínima y velocidad del viento máxima a lo largo del período de estudio resultaron ser diferentes estadísticamente ($p < 0.05$), así como para el índice de temperatura-humedad media ($p > 0.05$). Por lo que es posible que los factores climáticos estén modulando la fertilidad en las vacas productoras de leche.

SEASONAL INFLUENCES IN DAIRY COWS FERTILITY

ABSTRACT

The monthly fertility, was evaluated along the year, during the implicit period of 1991-2000. We used data records of reproduction of 24,380 artificial inseminations of high producers dairy cows. The study was made in "La Quinta Ranch" in Actopan, Hidalgo State, it is located an altitude of 1980 msnm, with a climate temperate semidry. We made an analysis of variance of mean square and a repeated measurement design to long the time to analyze the fertility and the climatic variables. The average of percent of fertility during the study was of 34.19, the rate of smaller success corresponds to the months of may to september (final of spring and during the summer), and highest success of october to april (autumn principle and winter, months with photoperiod of short days). Statistically we have that the winter-autumn season from the 1991-2000 period, and seasons along the study turned out to be significant ($p < 0.01$); while the months in seasons of year were not significant ($p > 0.05$). The analysis of variance to the percentage of fertility didn't show differences to the light hours ($p > 0.05$). Dry and rain seasons effects (november-march and april-october) in the fertility was significant ($p < 0.05$). Correlation analysis showed to fertility variable, the minimum temperature was $r = -0.82$; in the same way, precipitation obtained in $r = -0.86$. Medium and minimum relative humidity, half wind speed have $r = -0.69$, -0.65 , and -0.65 respectively, that

shows a high correlation of these variables with the fertility. The results show that the maximum and minimum temperature, humidity relative minimum and maximum wind speed along of study period was statistically different ($p < 0.05$), in the same way, index temperature-humidity mean ($p > 0.05$). Is possible that climatic factors are modulating the fertility in the dairy cows.

INTRODUCCIÓN

Debido a que a lo largo del tiempo las vacas lecheras han sido sometidas a una selección genética estricta se han convertido en animales altamente especializados en la producción de leche bajo sistemas intensivos. El metabolizar gran cantidad de alimento para la producción de leche, implica una fuerte generación de energía que debe ser canalizada para mantener los procesos fisiológicos del animal. Las altas temperaturas, y en ocasiones, la humedad relativa del ambiente, que es común en el verano en la mayor parte de México, con frecuencia rebasa la capacidad de los mecanismos homeostáticos normales de los animales para la disipación del calor que generan, provocando condiciones de estrés que afectan su fisiología.

La energía del sol varía de una manera regular en términos de intensidad y fotoperíodo para latitudes en particular. La temperatura y el fotoperíodo constituyen una señal para iniciar la actividad reproductiva en diferentes especies animales (Salisbury y col., 1978; Johnson y col., 1987). En los vertebrados que viven en regiones templadas se ha demostrado claramente que la glándula pineal está implicada en comunicar el mensaje del fotoperíodo mediante el patrón diario de secreción de melatonina (Reiter, 1993; Olivera y Jaramillo, 2001).

Información de campo y de laboratorio coinciden que la fertilidad está correlacionada negativamente con la temperatura ambiental y humedad. Los índices de concepción para la inseminación artificial en vacas Holstein bajo clima subtropical están en el rango de 55% durante los meses de temperatura y humedad baja, y solo

es del 10% durante los meses de temperatura y humedad alta (Ingraham y col., 1974). En otros estudios se ha relacionado la variación del índice de concepción con la radiación solar, presión atmosférica y duración del día (Gwazdauskas y col., 1975; Mercier y Salisbury, 1947). La fertilidad del ganado lechero también está asociado con la raza, edad, número de servicios e inseminador (Gwazdauskas y col., 1975; Stevenson y col., 1983). Asimismo el índice de concepción está relacionado con el comportamiento del estro, tiempo de la detección del estro e inseminación, presencia del moco en la inseminación y sitio de la deposición del semen (Foote, 1979; Gwazdauskas y col., 1981b; Stevenson y col., 1983).

Uno de los parámetros más importantes para evaluar la eficiencia reproductiva en el ganado lechero, es sin duda el índice de fertilidad de las hembras. El comportamiento reproductivo ineficiente es una de las razones principales por las cuales las vacas lecheras son desechadas de los hatos. En la mayoría de hatos lecheros se establece la meta de un parto por vaca al año.

ANTECEDENTES

EFFECTO DEL CLIMA Y LA ESTACIONALIDAD EN LA ACTIVIDAD OVARICA

El clima es el estado colectivo del tiempo día a día en un lugar o sobre una área expresada por las propiedades estadísticas de varios elementos del tiempo. La media de la temperatura y la precipitación total para un intervalo de tiempo es frecuentemente escogido como características del clima.

Desde hace varias décadas se han realizado estudios encaminados a esclarecer el papel que juega la estacionalidad sobre la actividad ovárica y su posible repercusión en la fertilidad de los animales. Existe evidencia que sugiere que los mecanismos reproductivos estacionales están presentes en el ganado aun cuando estas especies ovulan y aparean a lo largo del año. Las vacas tienden a tener un anestro postparto más reducido en fotoperíodos largos que en fotoperíodos cortos (Thibault y col., 1966, Bulman y Lamming, 1978, Montgomery y col., 1980; Peters y Riley, 1982). En vacas ovariectomizadas, por ende este patrón estacional de secreción de hormona luteinizante (LH) presenta altas concentraciones en invierno y bajas en verano (Critser y col., 1983).

McNatty y colaboradores (1984) estudiaron en vacas Angus en Australia, las diferencias estacionales relacionadas específicamente con el desarrollo del folículo preovulatorio y el cuerpo lúteo. Durante el final del otoño e invierno (mayo a junio en Nueva Zelanda) la media del diámetro del folículo dominante secretor de estrógenos

y de los folículos largos sanos (≥ 8 mm de diámetro) fueron mayores, teniendo más células de la granulosa que en la primavera (octubre). También bajo estas condiciones ambientales durante mayo-junio el cuerpo lúteo fue más pesado y produjo más progesterona que en octubre. En cuanto a las diferencias estacionales en el desarrollo folicular preovulatorio parece no ser debido a las diferencias estacionales en la capacidad de las células de la teca para sintetizar andrógenos en respuesta a LH, o de células de la granulosa para metabolizar andrógenos a estrógenos, pero quizás en parte por diferencias estacionales en la secreción de LH (McNatty y col., 1983).

El ovario de las vacas, presenta una alta afinidad específica a los receptores de LH que están presentes en el tejido de la teca interna (Henderson y col., 1984). En respuesta a un pulso de LH de $\geq 1 \mu\text{g/l}$ de amplitud, la teca interna puede secretar androstendiona hasta por 3 horas *in vitro*. Esa LH media eventos que son demostrables en la mayoría de folículos sanos así como algunos folículos atresicos (≥ 2 mm de diámetro). La síntesis de estrógenos es limitada por células de la granulosa de folículos sanos con el índice mayor de producción originado de folículos dominantes o grandes (McNatty 1984). Cuando estas observaciones son consideradas conjuntamente por la presencia de una frecuencia de picos altos de LH en octubre más que en mayo-junio, podría ser razonable sugerir que folículos grandes sanos tienen un mayor potencial para la biosíntesis de andrógenos y estrógenos en octubre que en mayo o junio. Otra posible consecuencia de las diferencias estacionales en la frecuencia de pulsos de LH puede ser que un nivel alto en la biosíntesis de estrógenos es iniciado en octubre por folículos sanos de pequeño

diámetro a diferencia de los meses de mayo o junio. Esta evidencia es soportada por encontrarse un rango similar de concentraciones de estradiol (E_2) en folículos dominantes en octubre, mayo y junio.

En otro estudio con ganado ovariectomizado (Critser y col., 1983) las concentraciones de LH fueron altas durante los meses de invierno y bajas durante los meses de verano, en contraste con el estudio de McNatty y col., (1984).

Se tiene información de que la baja fertilidad en verano en el ganado, bajo condiciones de estrés calórico es un problema multifactorial, ya que la hipertermia resulta en diversas alteraciones funcionales (Roman-Ponce y col., 1981; Wolfenson y col., 1988; Putney y col., 1988). En adición, el nivel para el cual la temperatura del tejido se incrementa durante el estrés térmico del verano modula esa respuesta (Putney y col 1988). Otros estudios han indicado que los folículos ováricos son susceptibles a estrés térmico (Badinga y col., 1993). El folículo dominante de la primera oleada durante calor estresante en vacas lactantes fue pequeño en diámetro y tenían menos fluido que los folículos de las vacas control en el día 8 del ciclo. Registros de ultrasonografía durante los primeros 7 días del ciclo demostraron que la dominancia folicular se altera, lo que se hace evidente por la falta de disminución en el número de folículos de tamaño medio y el tamaño del folículo secundario más grande, así como el folículo subordinado (Badinga y col., 1993). Además, el estrés calórico reduce la viabilidad de las células de la granulosa, la actividad de la aromatasa, y la producción de androstendiona en células de la teca del día 7 del folículo dominante de la primera onda folicular (Lucy y col., 1992). Un efecto crónico del estrés calórico también ha sido evidenciado por bajas concentraciones de

estradiol en plasma y fluido folicular a finales del verano, comparado con las concentraciones en vacas a principio del verano que han experimentado este estrés por un corto periodo (Badinga y col., 1993).

Savio y colaboradores (1990) estudiaron los patrones de crecimiento folicular en el postparto temprano en vacas Holstein (2-4 partos) que parieron en primavera u otoño. Los ovarios se examinaron por ultrasonido, y las muestras de sangre fueron obtenidas diariamente para determinar concentraciones de progesterona y estradiol desde el día 5 hasta la primera ovulación postparto. El desarrollo folicular ovárico durante el periodo del postparto temprano se caracterizó por el crecimiento y regresión de folículos pequeños de 8 mm de diámetro hasta la detección del primer folículo dominante postparto (≥ 10 mm de diámetro en ausencia de otro folículo grande), 3-6 días antes de la primera ovulación. El número de folículos pequeños generalmente varia entre 2 y 5 por día. En vacas donde el primer folículo dominante se detecta entre los días 5 y 8 después del parto se llegan a formar quistes, las concentraciones de progesterona son consistentes entre 0.1 y 0.3 ng/ml desde el parto hasta el desarrollo del primer CL. El intervalo postparto para la detección del primer folículo dominante fue significativamente más corto en otoño que en vacas que parieron en primavera (6.8 ± 1.8 vs 20 ± 10.1 d), mientras que en el intervalo postparto a la primera ovulación no presento diferencias entre ambas estaciones (otoño 27.4 ± 25.9 y primavera 27.3 ± 18.9). Las vacas que parieron en otoño y que presentaron quistes foliculares tuvieron intervalos mas largos a la primera ovulación (58.2 ± 23.5 d) que las vacas normales (12 ± 2.5 d). En este mismo estudio un patrón pulsátil de secreción de LH fue detectado en la primera semana postparto y

la frecuencia de pulsos de LH fue de 2 a 3 cada 6 horas en las semanas 1 y 2 postparto y se incrementan de 5 a 7 pulsos por un periodo de 6 horas en la presencia de folículo dominante o quístico. La concentración de progesterona en plasma durante el anestro postparto generalmente es baja (< 0.2 ng/ml); así como las concentraciones de estradiol (< 5 pg/ml), sin embargo se encuentran valores altos (5-110 pg/ml) en vacas que presentan un folículo dominante o quístico.

Las vacas que desarrollan quistes foliculares muestran periodos prolongados de altas concentraciones de estradiol conjuntamente con el desarrollo del quiste, regresando a su nivel basal 10 a 15 días antes de la primera ovulación, (Savio y col., 1990) sugiriendo una posible alteración de los patrones normales de secreción de gonadotropinas debido a un efecto positivo de retroalimentación del estradiol en la secreción de LH (Kesner y col., 1981). Otros autores apoyan la hipótesis de una posible insuficiencia de LH en el tiempo de la ovulación como una causa de la formación de quistes (Nadaraja y Hansel; 1976, Kesler y Garverick, 1982).

Badinga y colaboradores (1993) examinaron la influencia del estrés calórico del verano en el crecimiento folicular y la esteroidogénesis en vacas Holstein en lactación. En el día de la sincronización de la ovulación las vacas fueron asignadas a dos tratamientos ambientales de manejo, bajo condiciones de sombra (utilizando un sistema de enfriamiento ventilador-rociador), y sin sombra (0800-1500 horas). El desarrollo folicular fue monitoreado por ultrasonografía hasta la ovariectomía en el día 8 postestro. Las temperaturas rectales máximas de las vacas en un ambiente sin sombra fueron 2.1°C mayores que las vacas con un sistema de manejo en sombra, ejerciendo más que un moderado estrés calórico. Un estado de estrés calórico agudo

no tiene efecto en los patrones de crecimiento de la primera onda del folículo dominante y subordinado entre los días 1 y 7 del ciclo. Comparada con vacas bajo sombra, las vacas con estrés calórico no tienen supresión del folículo de tamaño medio (6 a 9 mm) entre los días 5 y 7. Los folículos dominantes en vacas bajo sombra fueron grandes (16.4>14.5 mm) y contienen mas fluido (1.9>1.1 ml) que los folículos dominantes de las vacas mantenidas sin sombra. Inversamente, los folículos subordinados de vacas sin sombra fueron mas grandes (10.1>7.9 mm) y contienen más fluido (0.4>0.2 ml) que los folículos subordinados en vacas bajo la sombra. Por otra parte, la actividad de la aromatasa de la pared folicular y las concentraciones de estradiol en el fluido folicular fueron altas en la primera onda del folículo dominante comparada con folículos subordinados. Inversamente, las concentraciones de progesterona fueron más altas en folículos subordinados que en folículos dominantes. Las concentraciones de estradiol en plasma y fluido folicular fueron más altas en el mes de julio que en el mes de septiembre (Badinga y col., 1993).

Los patrones de desarrollo folicular también son afectados por el estado de balance de energía en vacas en lactación (Lucy y col., 1991,1992). La dinámica folicular es alterada por el balance de energía negativo y por factores que alteran el balance de energía, como es el estado de lactación, nivel de producción de leche, ingestión de nutrientes ricos en energía como son sales de calcio de ácidos grasos de cadena larga e inyecciones de somatotropina bovina. El número de folículos grandes y la concentración de E₂ durante el periodo preovulatorio difieren entre las vacas en lactación y las vacas no lactando.

Las alteraciones en el desarrollo folicular durante el estrés calórico en vacas en lactación pueden interactuar con otros componentes del sistema reproductivo. Por ejemplo, el deterioro de la función del folículo preovulatorio puede afectar la subsecuente función del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona, resultando en alteraciones potenciales del oviducto o el ambiente uterino que puede afectar el desarrollo del embrión (Breuel y col., 1993). La reducción en la secreción de progesterona de las células luteales del cuerpo lúteo colectadas en verano versus invierno pueden estar relacionadas con un deterioro en la función del folículo preovulatorio (Wolfenson y col., 1993). Los índices de concepción en vacas en lactación están relacionados inversamente con la temperatura ambiental durante la fase folicular (Ingraham y col., 1976). Esto puede reflejar efectos de estrés calórico en la ovulación del oocito, así como en las funciones foliculares de las células de la granulosa y de la teca (Putney y col., 1989).

En vacas Holstein ovariectomizadas unilateralmente en los días 5, 8 y 12 de la sincronización del estro, el diámetro del folículo dominante se incrementa del día 1 (4 mm) al día 8 (16 mm) y no sufre cambios de ahí en adelante. El tamaño del segundo folículo más grande se incrementa de 4.2 mm en el día 1 a 8.6 mm en el día 8 y entonces se reduce a 7.5 mm en el día 12. El número de folículos de clase 1 (C1) (3 - 4 mm) declina de 4.4 en el día 1 a 2.0 en el día 5 y aumenta otra vez a 7.2 en el día 11. Teniendo una progresión de C1 a C2 (5 - 9 mm), y para C3 (\geq 10 mm). La actividad de la aromatasa del folículo dominante es alta en el día 5 (1147.1 pg E_2/F) y en el día 8 (1082.2 pg E_2/F) que en el día 12 (450.7 pg E_2/F). El E_2 folicular fue alto en el día 5 (983.2 ng/ml) que en el día 8 (225.1 ng/ml) y en el día 12 (108.5 ng/ml).

La supresión del folículo secundario fue asociado con un incremento en la progesterona folicular (día 5, 32.7 ng/ml; día 8, 412.2 ng/ml; día 12, 690.4 ng/ml). El incremento en la actividad aromatasa en el folículo dominante a la vez del establecimiento de la dominancia puede jugar un papel crítico en la supresión del segundo folículo más grande (Badinga y col., 1991).

En dos experimentos efectuados durante los meses de verano, uno en Florida (vacas al final de la lactación) y otro en Israel (primeros estados de lactación) con vacas Holstein ciclando, el ciclo estral fue programado para inducir dos oleadas foliculares, y asignarlas al azar a un ambiente frío (C= permaneciendo bajo la sombra de una estructura todo el tiempo) y otro con calor estresante (H = expuestas directamente a radiación solar 0800-1500 h). La longitud del ciclo estral para ambos experimentos fue de 20 y 17 días respectivamente, la media de la temperatura corporal fue mayor en H (40.3°C) que en C (38.8°C). En el primer experimento, el índice de incremento en el número de folículos grandes (≥ 10 mm) fue mayor en el grupo H que en el grupo C, resultando en un 53% más de folículos grandes en el grupo H durante la oleada 1; esto fue asociado con un número bajo de folículos de tamaño medio (6-9 mm) entre los días 7 y 10 del ciclo. El estrés calórico aceleró la disminución en tamaño del folículo dominante en la primera oleada y aceleró la aparición del segundo folículo dominante (preovulatorio) por dos días. En grupo H, la disminución fue marcada en el número de folículos de tamaño medio durante la segunda oleada. En el experimento 2, así como en el experimento 1, el índice en el incremento en el número de folículos largos fue mayor en el grupo H que en el grupo C, resultando en un 50% más de folículos grandes en el grupo H durante la oleada 1.

El folículo preovulatorio emerge tempranamente en el grupo H, y tiene gran diferencia indicando que en la mitad de las vacas del grupo H el surgimiento de dominancia ocurre 4 días antes. El estrés calórico suprime las concentraciones plasmáticas de estradiol durante la segunda mitad de la oleada 1 y tiende a reducir las concentraciones plasmáticas de inhibina. Concluyendo que el estrés calórico aparece para deteriorar o atrofiar el desarrollo folicular y para alterar la dominancia del folículo dominante de la primera oleada y del folículo preovulatorio en el ganado (Wolfenson y col., 1995).

Wilson y colaboradores (1998) estudiaron el efecto del estrés calórico en la función ovárica en vacas en lactación, éstas fueron asignadas a dos tratamientos, estresadas (29°C y 60% humedad relativa) y en termoneutralidad (19°C y 60% humedad relativa). Para las vacas que experimentaron estrés calórico, la temperatura ambiental (19°C) fue incrementada del día 11 al 13 del ciclo estral (incremento 3.3°C cada día) y permaneciendo en 29°C hasta el día 21. El folículo dominante de la segunda onda folicular fue el más probable en ovular en vacas tratadas con termoneutralidad que en vacas que experimentaron estrés calórico (91% vs 18% que ovularon, respectivamente). Los patrones de crecimiento folicular en vacas bajo estrés calórico fueron asociados con una disminución de estradiol sérico del día 11 al 20 y en el día de la luteólisis. Los días promedio de luteólisis fue retardado por 9 días en vacas estresadas. Así mismo, Wilson y col., (1998b) estudiaron el efecto del estrés en la función ovárica en vaquillas, que fueron asignadas a dos tratamientos, estresadas (33°C y 60% humedad relativa) y en termoneutralidad (21°C y 60% humedad relativa). Para las vaquillas que

experimentaron estrés térmico, la temperatura ambiental fue incrementada de la termoneutralidad a estrés calórico (33°C) entre el día 9 y 14 (incremento 2.4°C cada día) después de sincronizar el estro y permaneciendo entre 31 y 33.5°C hasta el día 22. El folículo dominante de la segunda onda folicular fue mayor para las vaquillas en un ambiente de termoneutralidad que para las vaquillas bajo estrés, y la ovulación del folículo dominante de la segunda onda folicular ocurre en 9 de 11 vaquillas en termoneutralidad. Para 6 de las 10 vaquillas estresadas, el folículo dominante de la segunda onda folicular tuvo regresión y fue remplazado por un folículo dominante de una tercera onda folicular ovulatoria. El tamaño de folículos pequeños en vaquillas estresadas fue asociado con una disminución en las concentraciones séricas de estradiol entre los días 11 y 21. Las concentraciones séricas de progesterona durante la fase lútea fueron similares, pero la luteólisis fue retardada en vaquillas estresadas comparadas con las vaquillas bajo tratamiento con termoneutralidad. Concluyendo que el estrés calórico inhibe el crecimiento y función del folículo dominante para que la mayoría de vaquillas estresadas tengan tres ondas foliculares y un retraso en el cuerpo lúteo (Wilson y col., 1998).

EFFECTO DEL CLIMA Y LA ESTACIONALIDAD EN LA FUNCIÓN HIPOFISIARIA Y GONADAL

Se conoce que las altas temperaturas ambientales causan una reducción en la duración e intensidad de la expresión del estro e incrementan la incidencia de anestro y ovulaciones silenciosas (Gwazdauskas y col., 1981). Existen discrepancias

en la literatura concernientes a las secreciones hormonales durante un estrés calórico agudo. Se ha reportado, que las concentraciones de estradiol disminuyen (Gwazdauskas y col., 1981) aumentan (Rosenberg y col., 1982) o no son afectadas (Roman-Ponce y col., 1981) por un ambiente de estrés calórico. Similares paradojas existen en los datos reportados para progesterona; (Roman-Ponce y col., 1981; Gwazdauskas y col., 1981; Rosenberg y col., 1982) y concentraciones de hormona luteinizante (LH) (Roman-Ponce y col., 1981; Gwazdauskas y col., 1981; Wise y col., 1988) durante el estrés térmico. Disparidad en la respuesta hormonal a elevadas temperaturas ambientales puede estar relacionada a diferencias en condiciones experimentales.

Wise y colaboradores (1988) estudiaron en 14 vacas Holstein en lactación primíparas y multíparas, de las cuales 8 fueron mantenidas a lo largo del verano en un establo con clima o ambiente controlado mediante aire acondicionado (22°C), por otro lado 8 vacas fueron mantenidas fuera de los corrales con acceso solo a la sombra. La temperatura rectal e índices de respiración de las vacas bajo condiciones de estrés calórico fueron elevadas sobre las vacas mantenidas bajo condiciones del aire (40.2°C y 126.4 vs 38.6°C y 77.3 respectivamente); mientras que el promedio de la temperatura alta y el THI alto fue: 41.7°C y 86.2 vs 26°C y 74.2 respectivamente. Las vacas en ambos ambientes exhiben similares concentraciones séricas de progesterona y estradiol a lo largo del ciclo estral. Las concentraciones de cortisol sérico fueron altas en las vacas bajo estrés calórico comparadas con las vacas mantenidas bajo enfriamiento. El número de pulsos de LH en el día 5 del ciclo estral fue grandemente reducido en vacas bajo estrés calórico comparadas con las vacas

bajo enfriamiento. No existen diferencias en el número de pulsos de LH en el día 12 del ciclo estral entre las vacas en los dos ambientes.

El efecto del estrés calórico en la secreción de LH durante la fase folicular del ciclo estral en el ganado es confuso. Las concentraciones de LH en plasma han sido reportadas sin alteraciones (Gwazdauskas y col., 1981; Gauthier, 1986), incrementadas (Roman-Ponce y col., 1981) o disminuidas (Madan y Jonson, 1973) por el estrés térmico. Estas discrepancias han sido asociadas con diferencias en la frecuencia en el muestreo, el cual varía de una vez al día a una cada 3 horas, y depende si el estrés fue agudo o crónico.

Gilad y colaboradores (1993) estudiaron el efecto del estrés térmico agudo y crónico en la secreción de gonadotropinas tónica y estimulada por GnRH en vacas Holstein multíparas lactando. Los tratamientos comparan muestras de sangre en vacas control versus estrés térmico agudo en invierno, y vacas enfriadas versus estrés térmico crónico en verano. En vacas con estradiol plasmático bajo (1.9 ± 0.2 pg ml⁻¹), las concentraciones medias y basales y la amplitud de los pulsos tónicos de LH fueron reducidos por el estrés calórico (3.1, 2.1 y 4.8 vs 1.9, 1.4 y 2.5 ng ml⁻¹, respectivamente). En vacas con estradiol plasmático bajo (6.3 ± 0.5 pg ml⁻¹), esos parámetros no fueron afectados. En vacas estresadas crónicamente en verano, el GnRH ocasiono incremento en las concentraciones en plasma de LH y FSH, siendo las mismas como en las vacas control enfriadas. En vacas con estradiol plasmático bajo, las concentraciones plasmáticas medias de FSH (31.8 vs 25.5 ng ml⁻¹), el pico de GnRH que induce FSH y oleada de LH (FSH 47.4 versus 35.6 ng ml⁻¹, LH 50.7 versus 37.3 ng ml⁻¹) fueron significativamente menores en vacas sin enfriamiento

que las vacas controles que se refrescaron. El GnRH que induce incremento en la secreción de LH no fue afectado por un estrés calórico crónico en vacas con altas concentraciones de estradiol en plasma. En el invierno, un estrés calórico agudo deprime la concentración media de FSH en plasma y disminuye el GnRH que induce liberación de FSH en aquellas vacas con bajas concentraciones de estradiol en plasma pero no en aquellas con altas concentraciones. El pico de GnRH que induce oleada de LH en todas las vacas estresadas agudamente fue significativamente menor en invierno que en vacas control, no obstante de las concentraciones de estradiol en plasma. Estos resultados muestran que el estrés térmico afecta la secreción de gonadotropinas más en vacas con bajas concentraciones de estradiol que en aquellas con altas concentraciones de estradiol en plasma.

Wolfenson y colaboradores (1997) estudio la estacionalidad y el efecto del estrés térmico agudo en las concentraciones de esteroides en el fluido folicular y la producción de esteroides por células de la granulosa y de la teca interna, en folículos dominantes en vacas Holstein. Tres grupos de vacas Holstein al final de la lactación fueron estudiadas: verano (septiembre y octubre, THI máximo 78.6 y 76.6 respectivamente), otoño (noviembre: THI máximo 70.5) e invierno (enero y febrero, THI máximo 65.4), y previamente a la colección de ovarios (julio y agosto, THI máximo 81.4 y 81.5 respectivamente). Durante la estación de invierno, otro grupo de vacas fueron estresadas agudamente de los 3 a los 5 días del ciclo estral; en el día 7 el fluido folicular del folículo dominante de la primera onda fue aspirada y separadas las células de la teca y granulosa de cada grupo estacional para incubarse por 18 horas a temperatura normal (37.5°C) o alta (40.5°C). Las células

fueron incubadas en un medio básico, con o sin adición de testosterona para las células de la granulosa o forskolin para las células de la teca. El fluido folicular de la concentración de 17β -estradiol fue alto en verano, bajo en otoño e intermedio en invierno. Durante el invierno el estrés calórico agudo *in vivo* incrementó las concentraciones de androstendiona en el fluido folicular y disminuyó el estradiol a niveles comparables con aquellos que predominaron en el verano. La producción de androstendiona por células de la teca en un medio básico y el estimulado por forskolin fue alto en el invierno en relación con el verano y otoño, ocurriendo también lo mismo cuando se compararon con las vacas que fueron estresadas durante el invierno, lo cual sugiere que la función de las células de la teca son susceptibles a un estrés calórico crónico (verano), por un periodo corto (invierno) y por un efecto retardado del estrés calórico (otoño). La incubación *in vitro* a altas temperaturas (40.5°C) reduce la alta producción de androstendiona estimulada por forskolin en el invierno. La producción de estradiol por células de la granulosa fue alta en invierno y otoño, y baja en el verano. Un estrés calórico agudo en verano no altera la producción de estradiol relativo al invierno como control, mientras una alta temperatura de incubación (40.5°C) reduce la producción de estradiol solo en el otoño, cuando un alto índice de producción fue registrado. El diámetro folicular no difiere entre grupos. Concluyendo que el estrés calórico reduce la capacidad de biosíntesis de las células de la teca (productoras de androstendiona), pero tiene menos efecto en células de la granulosa (productoras de estradiol). El hecho que la producción de androstendiona fuera también reducida en el otoño apunta hacia un efecto de acarreamiento del verano en la función folicular. La susceptibilidad del

folículo dominante al estrés calórico puede jugar un papel importante en reducir la fertilidad de vacas lecheras durante el verano y el otoño.

EFEECTO DEL CLIMA Y LA ESTACIONALIDAD EN LA MORTALIDAD EMBRIONARIA

Los factores ambientales como son la temperatura del aire y humedad son determinantes en gran parte por la localización y por las características del alojamiento de los animales. Una de estas características en la vaca que determina la capacidad termoregulatoria es la producción de leche, la cual afecta el índice metabólico y la hipertermia experimentado durante el estrés calórico (Berman y col., 1985).

El efecto deletéreo del estrés calórico en el desarrollo embrionario depende del día relativo a la ovulación en la cual las vacas son sujetas a estrés calórico. Putney y colaboradores (1989) utilizó novillas Holstein para determinar si el estrés previo a la ovulación incrementa la incidencia de anomalías embrionarias. Las novillas superovuladas mantenidas en termoneutralidad (24°C) o bajo condiciones de hipertermia (expuestas a 42°C por 10 h) por 7 d, empezando al inicio del estro; posteriormente entre 15 y 20 horas después se realizó la inseminación artificial. En el día 7 post-estro los embriones fueron recuperados encontrándose que solo el 12% de los 25 embriones recuperados de novillas estresadas fueron normales comparadas con el 68.4% de los 19 embriones de novillas en termoneutralidad. Las

novillas estresadas tienen una alta incidencia de atraso y/o embriones anormales con degeneración de blastómeros.

Los eventos reproductivos en el periodo preovulatorio son susceptibles a perturbarse por el estrés calórico, en el sentido que conduce a alterar el desarrollo embrionario. De allí en adelante, los embriones parecen adquirir una resistencia térmica; la exposición de vacas Holstein lactando superovuladas a estrés calórico en el día 1 después del estro reduce la viabilidad y desarrollo del embrión recobrado en el día 8, pero el estrés calórico no afecta si es aplicado en el día 3, 5 o 7 después de la inseminación (Ealy y col., 1993). Similares observaciones han sido hechas en embriones expuestos a 'heat shock' en cultivos (Edwards y Hansen, 1997). No es conocido si el estrés calórico antes de la ovulación puede comprometer la subsecuente fertilidad. Tal efecto es posible porque el estrés calórico puede alterar el desarrollo folicular (Wolfenson y col., 1995), y el oocito puede perturbarse por la exposición a elevadas temperaturas (Edwards y Hansen, 1996). Investigaciones efectuadas en la oveja (Dutt, 1963) indican que el estrés calórico 12 días antes del estro reduce la subsecuente fertilidad.

En un estudio con vacas Holstein en Florida y Georgia entre enero de 1994 y mayo de 1996, la temperatura promedio en el día de la inseminación fue un buen predictor de subsecuentes índices de no retorno a los 90 días, así como combinaciones más complejas de variables climáticas; la humedad y radiación solar no son importantes para la biología térmica del ganado. En el verano declina el índice de no retorno a los 90 días, siendo grande para vacas con alta producción de leche que en vacas con baja producción de leche. Si bien no es significativa la

relación entre la producción de leche y el índice de no retorno a los 90 días, tiende a ser más largo durante los meses de verano del año. El índice de no retorno a los 90 días fue reducido cuando las vacas fueron expuestas a un estrés calórico (por ejemplo $>20^{\circ}\text{C}$) en el día 10 antes del apareamiento o en el día 10 después del apareamiento. El índice de no retorno a los 90 días para vacas que tienen en promedio temperaturas $>20^{\circ}\text{C}$ en el día -10 fue menor que el índice de no retorno a los 90 días para vacas con promedio de temperatura de $\leq 20^{\circ}\text{C}$ en el día -10 (60.1 vs 36.5%). Similares resultados fueron encontrados en el día 0 (59.6 vs 41.4) y el día 10 (56.9 vs 41.1%) (Al-Katanani y col., 1999).

Dutt, (1963) reportó que el estrés calórico 12 días antes del apareamiento reduce la fertilidad en ovejas, sugiriendo que el estrés calórico puede comprometer la función del oocito. Biggers y colaboradores (1987) reportan que el estrés calórico del día 8 al 16 de preñez reduce el peso del embrión en el día 17. También el estrés calórico puede afectar la secreción endometrial de prostaglandinas (Putney y col., 1988), y concebiblemente, conducir a una luteólisis y pérdida embrionaria.

Los factores identificados como causas que reducen la fertilidad incluyen a la ovulación adyacente al cuerno uterino previamente preñado y el diámetro del cuerno, además de la falla de la ovulación en el primer estro en el 10.5% de los intervalos entre partos. Se ha estimado que la muerte embrionaria podría ser del 17% o cerca del 33% de los embriones presentes en el día 3 después de la inseminación. En adición, la atención podría ser dirigida al hecho de que altas concentraciones de estrógenos pueden comprometer la fertilidad durante el periodo del reconocimiento materno de la preñez.

Ayalon (1978) reviso los datos de los perfiles de esteroides durante la fase lútea temprana en vacas preñadas y no preñadas, y reporta que concentraciones de estrógenos en plasma son altos en el día del estro y en los días 3 y 4 después de la inseminación en vacas con degeneración del embrión que en vacas con embriones normales. Continuas infusiones de dos inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ incrementan el tamaño y número de grandes folículos en vacas en postparto. Villeneuve y colaboradores (1988) encontraron un incremento en las concentraciones de estradiol después del tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$ en vacas con postparto temprano. Por lo tanto, el incremento en $\text{PGF}_{2\alpha}$ del día 4 al 9 después del estro, puede incrementar las concentraciones de estradiol en suero durante este periodo.

Breuel y col., (1993) informaron que en vacas con destete temprano con ciclos normales, la fertilidad fue baja cuando el folículo preovulatorio fue grande por 5 días antes de la oleada de LH ovulatoria (36% comparada con el 91% de vacas con pequeños folículos), y que los folículos grandes secreten altas concentraciones de estradiol.

Altas concentraciones de estradiol pueden tener un efecto detrimental en el embrión durante y después del periodo de reconocimiento materno de la preñez.

La secreción y exposición a $\text{PGF}_{2\alpha}$ *per se*, antes de la formación del cuerpo lúteo, no aparece para ser un componente importante de la respuesta. La vida o duración de la hCG que induce formación del cuerpo lúteo no es afectada por la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en vacas control o por bloqueo de la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ con flunixin meglumine en vacas con progestágenos pretratados, durante la fase folicular preovulatoria (Johnson y col., 1992).

Ayalon (1978) informó que la mayor mortalidad embrionaria en vacas lecheras subfértiles ocurre entre los días 6-7 después del estro, cuando la mórula se está desarrollando en blastocisto. De los datos reportados por Wisharty (1977) y Ahmad y colaboradores (1994) la pérdida embrionaria en animales con folículos persistentes ocurre durante los estados de división temprana, cuando los cigotos están inmóviles en el oviducto. Maurer y Chenault (1983) observó que el 67% de la mortalidad embrionaria ocurre por el día 8 de gestación en ganado de carne.

Inskeep (1995) concluyó que la fertilidad en el postparto está limitada por la ocurrencia de una fase lútea corta en el ciclo estral temprano. Aún cuando la fase lútea sea de normal duración o los suplementos de progestágenos son suministrados, la fertilidad puede estar limitada por altas concentraciones preovulatorias de estradiol, y quizás por altas secreciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y resultando en una regresión lútea parcial en el periodo temprano después de la ovulación. Secreciones de estradiol más altas que las normales, ya sea en la parte temprana de la fase lútea o durante el reconocimiento materno de la preñez puede comprometer la fertilidad en vacas con ciclos estrales de duración normal. Los tratamientos para inducir estro y ovulación en vacas en el postparto pueden estar diseñadas para que los folículos crezcan ovulando rápidamente y producir una fase lútea de normal duración y función, si la fertilidad máxima está para ser lograda. Si una adecuada fase lútea se lleva a cabo, los efectos de otros factores limitantes pueden ser minimizados.

El papel de la progesterona en el mantenimiento de la preñez es indiscutible, de cualquier modo el posible papel de la progesterona alrededor del tiempo del

reconocimiento materno de la preñez no es evidente (Sreenan y Diskin, 1983). Las concentraciones periféricas de progesterona son mas altas en vacas preñadas que en vacas no preñadas en el día 4 (Butler y col., 1996) o en el día 6 (Shelton y col., 1990) posterior al apareamiento y que bajas concentraciones de progesterona durante la primera semana después del apareamiento están asociadas con un anormal desarrollo embrionario (Maurer y Echtenkamp, 1982). En otros estudios no se han encontrado diferencias en las concentraciones periféricas de progesterona que están relacionadas con el estado de preñez hasta el día 10 (Lukaszewska y Hansel, 1980) o el día 13 (Bulman y Lamming, 1978).

Existe la hipótesis que el tiempo del inicio de la fase lútea puede afectar el resultado de la preñez en vacas lecheras. Vacas con preñez confirmada tienen un inicio temprano de la fase lútea y tienen consistentemente altas concentraciones periféricas de progesterona con un desarrollo embrionario normal; mientras que aquellas no preñadas tienen un retraso en el inicio de la fase lútea y concentraciones menores de progesterona en el día 4.5 posterior a la Inseminación, y por lo tanto esta asociada con un descenso en la fertilidad. El retraso en el inicio de la fase lútea puede ser una consecuencia de la alta producción de leche (Larson y col., 1997).

Experimentalmente se ha demostrado la capacidad de la progesterona para promover el estado de desarrollo del útero, confirmando el papel de la progesterona en afectar la sincronía del útero y el embrión. Un retraso en el desarrollo ocurre cuando el útero esta menos avanzado que el embrión, y un desarrollo acelerado ocurre cuando el útero esta más avanzado que el embrión (Larson y col., 1997).

Zollers y col., (1993), demostraron que el pretratamiento con progesterona incrementa el número de receptores de progesterona en el útero en el día 5 después del estro. Por lo que la pérdida de embriones puede estar relacionada con una regresión lútea temprana, de manera que el tratamiento suplemental con progestagénico podría mantener la preñez.

EFFECTO DEL CLIMA Y LA ESTACIONALIDAD EN LA FERTILIDAD

Se ha encontrado que la fertilidad es sensible al estrés calórico durante 12 días antes del estro, especialmente en el día 2 antes del estro (Ingraham y col., 1976) un día después del estro (Badinga y col., 1985) y entre los días 1 a 7 después de la inseminación artificial (Putney y col., 1989). Las vacas enfriadas del día 0 al 8 después del estro, los índices de concepción se incrementan en un estudio (Stott y Wiersma, 1976) pero no en otro (Her y col., 1988).

Analizando los registros reproductivos (1975 y 1977) en base al número de inseminaciones en vacas y vaquillas de ganado Holstein, Brown Swiss y Jersey en Florida, Badinga y col., (1985) encontraron que no hay efecto significativo en el número de servicios por concepción, mientras que las mediciones climatológicas no tienen un efecto significativo en el número de servicios por concepción. Los índices de concepción se reducen durante el verano (junio a agosto), además de una relación negativa entre el índice de concepción y la temperatura máxima del aire un día después de la inseminación. El índice de concepción se reduce de 52-32% cuando la temperatura máxima del aire se incrementa de 23.9°C en marzo a 32.2°C

en julio. Una baja fertilidad posterior a la exposición de hembras a altas temperaturas ambientales puede estar asociada con un efecto detrimental del calor ambiental en el desarrollo del embrión. Los índices de concepción se reducen cuando la temperatura diaria máxima excede los 30°C; en contraste, los índices de concepción para novillas nulíparas no declinan hasta los 35°C. La reducción en los índices de concepción de vacas lactando puede deberse a la incapacidad para mantener una temperatura normal corporal bajo estrés calórico, puesto que un alto índice de producción de calor interno esta asociado con la lactación. El número de servicios por concepción de vacas y vaquillas fue de 1.9; servicios por concepción (vacas 2.3 y vaquillas 1.5), índice de concepción (vacas 50, y vaquillas 34%). Gradualmente se reduce el índice de concepción cuando aumenta el número de servicios (primer servicio 56% y quinto servicio 31%). El intervalo del tiempo de la detección del estro a la inseminación artificial no tiene efecto en el índice de concepción. El número de servicios por concepción fueron altos para animales servidos inmediatamente después de que fue detectado el estro. El efecto de la estación fue mayor para vacas lactantes que para las nulíparas (Badinga y col., 1985).

Hills y col., (1984) estudiaron el efecto del manejo y factores ambientales en la eficiencia reproductiva en cuatro grandes hatos lecheros (localizados al oeste y centro de Washington), encontrando que el porcentaje de concepción al primer servicio no es afectado por la producción de leche durante las lactaciones en curso o lactaciones previas; además las vacas con producciones altas durante las lactaciones en curso o anteriores tienen largos intervalos al primer servicio. Los días secos previos al parto no afectan la concepción o intervalos al primer servicio

significativamente. La concepción no fue menor para las vacas con menos de 50 días al primer servicio (32%) que para las vacas con más de 50 días al primer servicio (49 a 57%). Las vacas con tres o más lactaciones tienen baja eficiencia reproductiva que las vacas con una o dos lactaciones. Los meses de reproducción no afectan significativamente la concepción, pero si afectan el intervalo al primer servicio.

Jonsson y col., (1997) estudiaron la relación entre la estación de parto, balance de energía, THI, y ovulación postparto en vacas Holstein en clima subtropical, caracterizado por veranos cálidos e inviernos fríos, la temperatura máxima y mínima es de 33 y 19.3°C en enero y 21.4 y 4.2°C en julio, mientras la precipitación media anual es de 800 mm. La media del THI en verano (78 ± 0.14) tuvo una mayor significancia que en invierno (69 ± 0.27). El intervalo entre partos y la primera ovulación fue significativamente mas largo en vacas que parieron en verano (22.8 vs 17.6 d). El intervalo del parto a la primera ovulación postparto fue inversamente relacionado a la media de la concentración de glucosa en plasma para las primeras 9 semanas después del parto. La concentración de progesterona en plasma durante la vida del segundo cuerpo lúteo después del parto tiene una correlación negativa con el THI durante las primeras dos semanas después del parto. La concentración de glucosa en plasma tuvo una correlación negativa con la producción de leche y la temperatura rectal, y una correlación positiva con la concentración de calcio en plasma de acuerdo a la ecuación de regresión. Una baja inicial en la concentración plasmática de glucosa puede conducir a una baja producción de leche, mientras que altos niveles de producción de leche puede últimamente reducir la concentración de glucosa plasmática.

Recientemente se ha demostrado que la secreción de LH esta modulada directamente por la disponibilidad de la glucosa (Bucholtz y col., 1996). El balance de energía ha sido previamente relacionado con los niveles de secreción de progesterona por el segundo y tercer cuerpo lúteo, pero no por el primero (Villa-Godoy y col., 1988). La producción de progesterona por el segundo cuerpo lúteo tuvo una relación significativa con el THI, pero no con la glucosa, con la beta-hidroxi butirato (BHB) o con los cambios en el peso corporal.

El periodo acíclico en vacas productoras de carne (Hereford x Friesian) en lactación tuvo una correlación negativa para el peso corporal al parto; las vacas que paren entre noviembre y abril tienen un periodo acíclico significativamente más largo que aquellas que paren entre mayo y octubre (70.8 vs 35.9 días). Existe una correlación altamente significativa entre el fotoperíodo diario de un mes antes del parto y la longitud del periodo acíclico (Peters y Riley, 1982).

La duración del anestro postparto es un factor determinante en la eficiencia reproductiva de vacas lecheras. Adicionalmente, las vacas primíparas tienen un periodo de anestro más largo que las vacas multíparas. Un retraso en el apareamiento de vacas primíparas tiene un efecto detrimental en la duración de la eficiencia reproductiva. El amamantamiento es el mayor factor que influencia los intervalos postparto y el reducir el estímulo mamario facilita una cadena de eventos necesarios para el retorno al estro postparto. Se ha demostrado que las vacas primíparas que paren 2 o 3 semanas antes que una vaca madura, resulta en un incremento significativo en el porcentaje de vacas ciclando. En vacas primíparas Angus y Simmental con buena condición corporal, destete temprano o

amamantamiento una vez al día son igualmente efectivos en reducir el intervalo postparto, así como en eliminar el efecto supresivo del amamantamiento del eje hipotálamo-hipofisario-gonadal (Bell y col., 1998).

En vacas Holstein en el centro de Sudán donde el clima es caracterizado como caliente y seco durante el verano, con noches relativamente frías; el promedio de temperatura máxima, mínima, precipitación mensual y humedad relativa es de 36.9°C, 23.2°C, 10.2 mm y 27.9% respectivamente. La precipitación anual de 122 mm es baja, teniendo una humedad relativa máxima de 44.7%. La media de la mortalidad de los becerros fue estimada en $5.6 \pm 1.7\%$ (ES) por año. Entre los distintos meses, la variación en la mortalidad fue alta, la cual puede deberse a diferencias en la temperatura diaria y/o manejo. El índice de la mortalidad del becerro no fue consistentemente alto en los meses calurosos del verano (marzo a junio) como se había esperado. El número de servicios por concepción en el hato fue grande de marzo a junio, durante el verano donde existe calor y sequía. La tendencia de estros silenciosos y cortos en estaciones calientes hacen difícil la detección del calor dificultando la inseminación artificial (Ageeb y Hayes, 2000).

El incremento en el número de servicios provee más tiempo para dar a la vaca una condición fisiológica óptima para el siguiente parto. Hayes y col., (1992) y El Amin y col. (1986) estimaron el número de servicios por concepción en 1.66 y 2.07 para ganado Holstein en Canadá y cruza de Holstein en Sudán respectivamente; mientras que para Ageeb y Hayes (2000) el número de servicios por concepción fue de 4.2. La mayoría de vacas que muestran estros cerca de los 86 días, tienen 209 días del parto a la concepción Ageeb y Hayes (2000). Hayes y colaboradores (1992)

reportarón 80 días como intervalo entre el parto al primer servicio para regiones templadas. El Amin y colaboradores (1986) han reportado un intervalo entre partos de 441 días para vacas Holstein en Sudan; Ageeb y Hayes (2000) reportaron un intervalo de 486 días. Largos intervalos pueden reflejar pobre nutrición o estrés calórico.

Una gestación prolongada es frecuentemente asociada con un efecto positivo en la producción de leche y en la longitud de la lactación. La media del periodo de gestación fue de 279 ± 17 días (ES) y la media en el número de días secos fue de 104 (Ageeb y Hayes, 2000). Makuza y McDaniel (1996) han reportado pocos días secos para vacas Holstein en Zimbabwe (59 días) y los Estados Unidos (60 días). Los periodos de gestación no tienden a ser cortos durante los periodos calurosos del verano, así como se había esperado ya que las condiciones de estrés severo causadas por la temperatura del verano caluroso pueden resultar en becerros prematuros, con nacimientos 40-50 días antes en algunos casos. Para el estudio de Ageeb y Hayes (2000) la eficiencia reproductiva fue de 74.9% mientras que los factores que tuvieron efectos significativos ($p < 0.01$) sobre todas las variables reproductivas estudiadas fueron el año y mes del parto, y la paridad (meses al parto).

En vacas Ayrshire en tierras altas en el trópico de Tanzania (estación lluviosa: diciembre a abril del siguiente año y estación seca: mayo a noviembre), los animales que paren en el inicio de la estación lluviosa subsecuentemente tienen cortos intervalos entre partos, mientras que aquellos que nacen en la estación seca tienen largos intervalos entre partos. La diferencia en los intervalos entre partos entre

animales que paren en diferentes meses del año no son estadísticamente significativos (estación lluviosa: 435 ± 7 y estación seca 443 ± 6 días). Los intervalos entre partos son afectados por la paridad y tratamiento previo con FSH (para inducir una superovulación) incremento significativamente el intervalo medio entre partos (579 ± 28 vs 457 ± 15 días, $p < 0.00$) en vacas Ayrshire en su primera lactación, exhibiendo subsecuentemente largos intervalos entre partos; sin embargo la estación del parto (lluviosa vs seca) no influyo en dicho intervalo (Kanuya y Greve, 2000).

OBJETIVOS

Con base al gran número de estudios y factores encaminados a comprender el papel que estos juegan en la fertilidad de las vacas productoras de leche, el presente estudio se planteo como objetivo principal conocer la influencia de las diferentes estaciones del año, así como el efecto del fotoperíodo y condiciones climáticas a través de las diferentes estaciones del año sobre el índice de fertilidad (con base a la inseminación artificial) a través de los registros reproductivos durante un período de diez años (1991-2000) en un hato comercial en el Estado de Hidalgo bajo las condiciones climáticas de la región (semi seco templado).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de trabajo

El Rancho La Quinta se ubica en el Municipio de Actopan en el Estado de Hidalgo. Se localiza a una altitud de 1980 msnm, entre los 20°14'14" de longitud norte y 98°57'00" de longitud oeste. El clima de la región esta clasificado como semi seco templado, tipo BS₁KW(w)(i)g, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1987). La temperatura media anual varía de 16° a 20°C, con la media mensual máxima presente en mayo (22°C) y la mínima en enero con 14.9°C. Los valores reportados para la precipitación total anual fluctúan entre 400 a 500 mm disminuyendo en febrero donde no rebasan los 5 mm (INEGI, 1996).

Datos metereológicos

Los datos metereológicos para el Rancho la Quinta fueron obtenidos de la estación metereológica de Pachuca de Soto, Hidalgo, ubicada a 30 kilómetros del lugar y cuya altitud y clima son similares al área de estudio.

Las variables climáticas de estudio fueron: temperatura media (TMED), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), humedad relativa media (HRMED), humedad relativa máxima (HRMAX), humedad relativa mínima (HRMIN), precipitación (PP), velocidad del viento media (VTOMED) y velocidad del viento máximo (VTOMAX).

Datos de fotoperíodo

Los datos de fotoperíodo fueron obtenidos para una latitud de 20° de acuerdo al Anuario del Observatorio Astronómico Nacional (1991-2000).

Índice temperatura humedad

El índice temperatura-humedad (ITH) que expresa el confort o adversidad de la zona climática para vacas lecheras de climas templados fue calculado de acuerdo a Smith (1989) con la siguiente ecuación $THI = \text{Temp. del bulbo seco} - 0.55 (1-HR)$; en donde: Temperatura del bulbo seco esta expresado en °F y la Humedad Relativa (HR) como una proporción.

Análisis de datos de los registros reproductivos

Los registros reproductivos se obtuvieron de la base de datos del Rancho la Quinta, de los cuales se evaluó la fertilidad mensual a lo largo del año (número de servicios o inseminaciones por preñez final). El porcentaje de fertilidad se expreso como el número de servicios entre el total de concepciones.

Detección de estro y momento de la inseminación artificial

Se hicieron dos inspecciones visuales al día para detectar el comportamiento de estro. Aquellos animales que se les detectó el celo por la tarde se les inseminó por la mañana, mientras que aquellas detectadas por la mañana se les inseminó por la tarde. Todas las inseminaciones fueron realizadas por profesionales inseminadores calificados que utilizaron semen de una casa comercial de toros de registro.

Diagnóstico de preñez

El diagnóstico de preñez se realizó por examen rectal a los 30-45 días post-inseminación

Animales y manejo

La captura de datos se realizó para el periodo comprendido entre el año de 1991 al 2000 en vacas multíparas de la raza Holstein de alta producción. El hato comercial consta en promedio entre 800 y 1000 vacas en producción.

El sistema de producción es intensivo y altamente tecnificado, las vacas son ordeñadas dos veces por día. Las vacas varían en edad, número de lactaciones y producción de leche.

El sistema de alimentación esta basado en una dieta integral ofrecida en el rancho para las vacas secas que incluye: 16% de PC en base a MS, para animales en postparto; 20% PC en base a MS. El alimento se proporcionó para los animales en producción, en el horario de las 4:00, 12:00 y 16:00 hrs.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de mínimos cuadrados, utilizando el procedimiento general para modelos lineales (PROC GLM) del SAS (1990) y un diseño de mediciones repetidas en el tiempo.

Debido a la naturaleza y estructura de los datos se utilizaron modelos lineales de efectos fijos para todas las variables dependientes y las diferencias estadísticas en las medias fueron determinadas por el método de Tukey.

Además se realizó un análisis de correlación en el procedimiento PROC CORR del SAS, para ver el grado de asociación entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

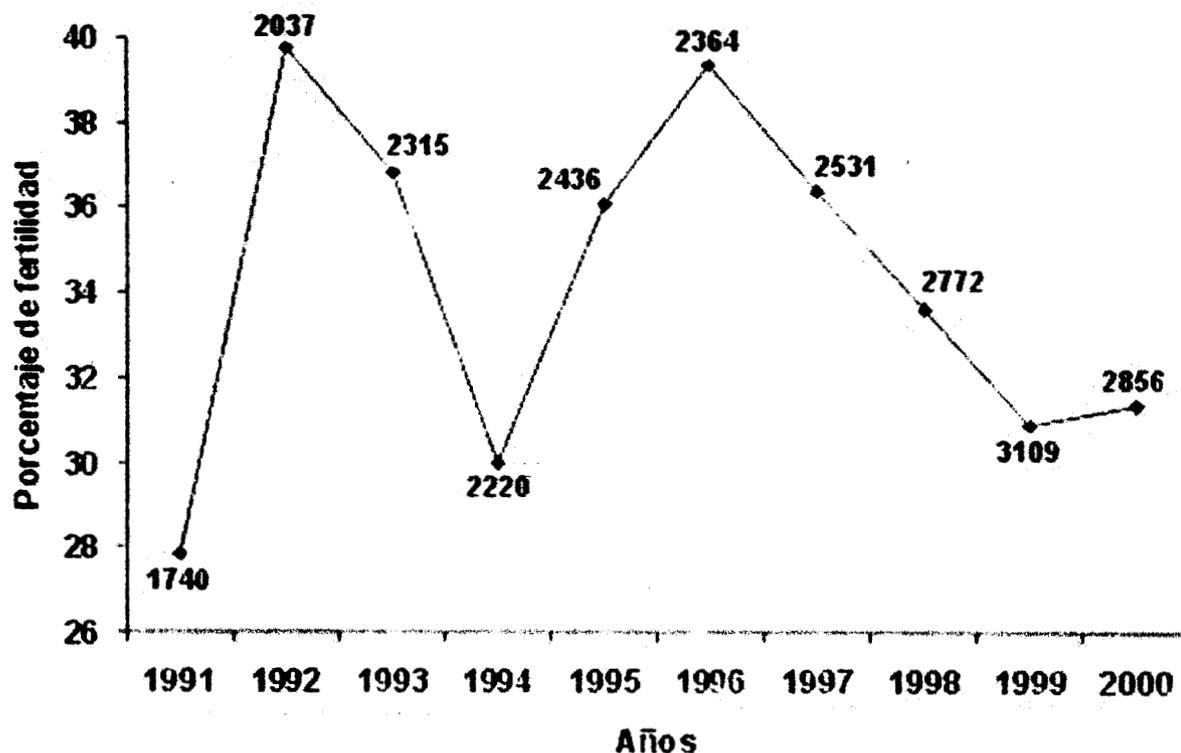
ESTACIONALIDAD Y FERTILIDAD

La media del porcentaje de fertilidad para todo el periodo de estudio (1991-2000) fue de 34.19, mientras que los años con el mayor y menor porcentaje de fertilidad corresponden a los años de 1991 y 1992 con 27.81 y 39.35 respectivamente (Grafica 1); los cuales estadísticamente fueron significativos ($p < 0.01$). Morales y colaboradores (2000) reportan un porcentaje de fertilidad de 34.5, realizado en Tizayuca, Hidalgo. Así mismo existe un comportamiento de alta o baja fertilidad en relación a una fertilidad óptima propuesta del 30%.

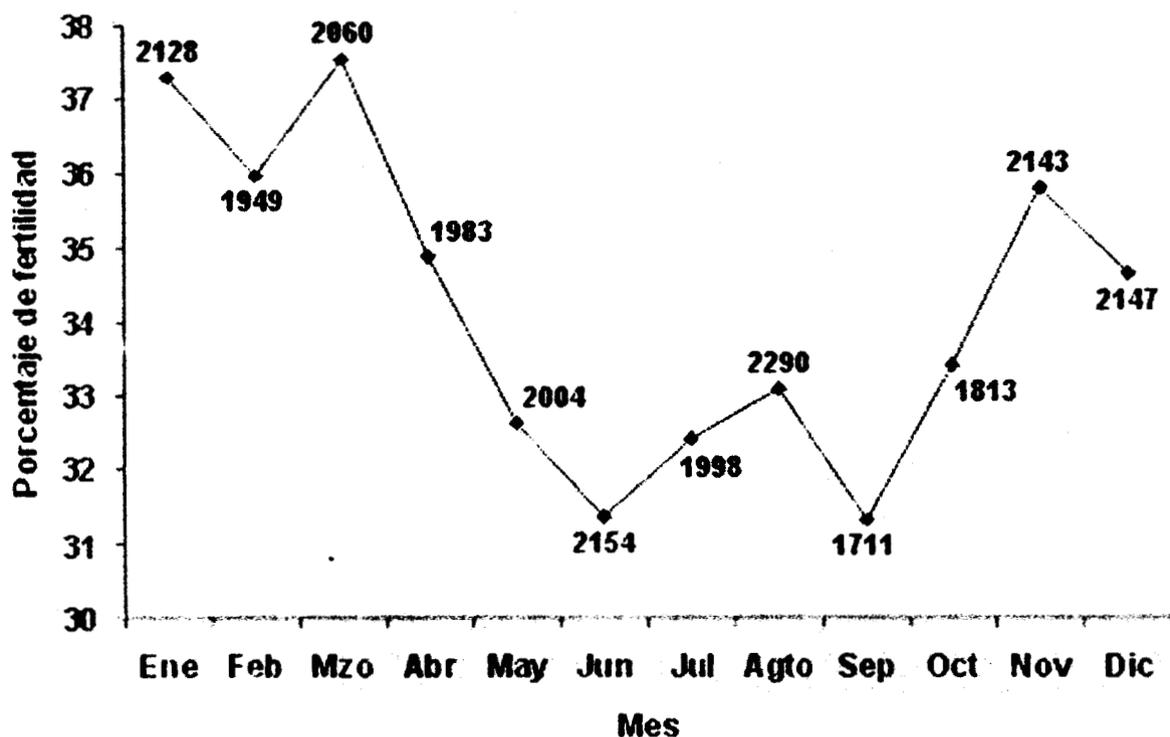
De acuerdo a los trabajos realizados por Gwazdauskas y colaboradores (1975) y Badinga y colaboradores (1985), en los cuales se reporta un porcentaje de fertilidad para un ambiente subtropical de 39 y 35.5% respectivamente.

Los resultados muestran que el porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en este estudio es diferente dependiendo del mes del año (Grafica 2). Se observa una tasa de menor éxito en los meses de mayo a septiembre, que corresponden a finales de primavera y durante el verano, y la tasa de mayor éxito corresponde a principios de otoño e invierno, los cuales concuerdan con los datos reportados en vacas Holstein con baja fertilidad durante los meses de julio (29%) y septiembre (22%) (Badinga y col., 1985) mientras que a una latitud de 47°N se obtienen un menor porcentaje de fertilidad durante los meses de mayo a julio (Courot

y col., 1968). Estadísticamente tenemos que las estaciones invierno-otoño, el periodo comprendido de 1991-2000 y estaciones a lo largo del período de estudio resultaron ser altamente significativas ($p < 0.01$); mientras que los meses que comprenden las estaciones del año no fueron significativas ($p > 0.05$). Los resultados de el periodo de estudio concuerdan con los descrito por Badinga y col., (1985) bajo un clima subtropical, así como Ageeb y col., (2000) en un clima cálido y seco; sin embargo reportan como no significativo el efecto entre la fertilidad y los meses del año.



Gráfica 1. Media de la fertilidad anual en vacas Holstein durante el período de 1991-2000, con base en 24,380 inseminaciones artificiales en Actopan, Edo. de Hidalgo. El número indica las IA.



Gráfica 2. Media mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas Holstein durante el período de 1991-2000, con base en 24,380 inseminaciones artificiales en Actopan Hidalgo, México. El número indica las IA.

En estudios realizados por McNatty y colaboradores (1984) en los cuales el diámetro del folículo dominante y folículos largos sanos son mayores durante el otoño e invierno, tienen más células de la granulosa, además de ser el cuerpo lúteo más pesado y producir más progesterona que en la primavera.

Wolfenson y colaboradores (1997) reportan que el fluido folicular de la concentración 17β -estradiol fue alto en verano, bajo en otoño e intermedio en invierno, por otro lado la producción de estradiol fue alto en invierno y otoño, y bajo en verano, concluyendo que el hecho de que la producción de androstendiona fuera

también reducida en el otoño apunta hacia un efecto de acarreamiento del verano en la función folicular.

Aunque se ha establecido que el animal entra en estrés calórico a partir de que alcanza un ITH de 72, los patrones de baja fertilidad durante el verano coinciden con los encontrados durante el estudio. Badinga y col, (1993) han reportado que folículos ováricos son susceptibles a estrés térmico, ya que los folículos dominantes de la primera oleada son más pequeños y tienen menos fluido que las vacas mantenidas bajo sombra. Los folículos subordinados de vacas sin sombra fueron más grandes y contienen más fluido que los de vacas bajo la sombra. Las concentraciones de progesterona fueron más altas en folículos subordinados que en folículos dominantes. Las concentraciones de estradiol en plasma y fluido folicular fueron más altas en el mes de julio que en el mes de septiembre. Además el estrés calórico reduce la viabilidad de las células de la granulosa, la actividad de la aromatasa, y la producción de androstendiona en células de la teca (Lucy y col., 1991).

Los patrones de crecimiento folicular en vacas bajo estrés calórico fueron asociados con una disminución de estradiol sérico del día 11 al 20 y en el día de la luteólisis. Los días promedio de luteólisis fue retardado por 9 días en vacas estresadas (Wilson y col., 1998).

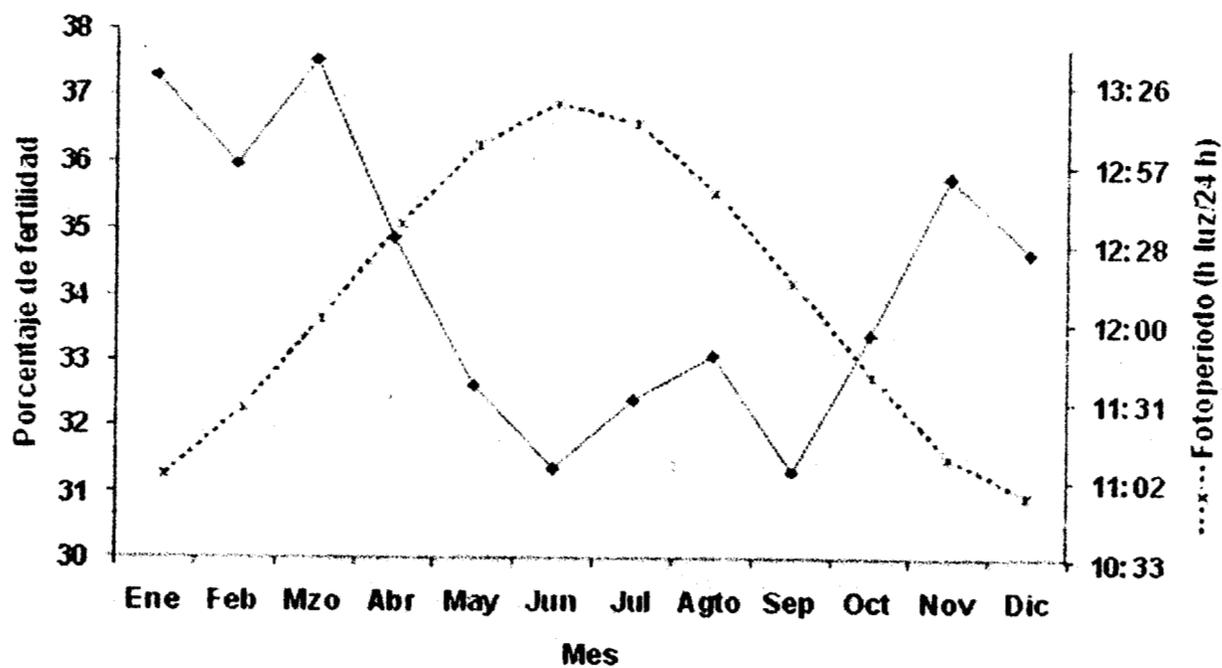
Se sabe que el deterioro de la función del folículo preovulatorio puede afectar la subsecuente función del cuerpo lúteo y la secreción de progesterona, resultando en alteraciones potenciales en el oviducto o el ambiente uterino que puede afectar el desarrollo del embrión (Breuel y col., 1993).

Las diferencias estacionales en la actividad ovárica que han sido reportadas para vacas lecheras probablemente son consecuencia de las diferencias estacionales en la secreción de gonadotropinas. McNatty y col., (1984) reportaron una mayor frecuencia de picos altos de LH en primavera que en otoño e invierno.

Morales y colaboradores (2000) no encontraron diferencias estadísticas entre las concentraciones de progesterona plasmática durante los primeros 15 días postinseminación, entre vacas gestantes y vacías bajo un clima templado subhúmedo, contrastando con lo encontrado por Shelton y col., 1990 y Butler y col., (1996).

Se puede observar una tendencia de mayor fertilidad en los meses con un fotoperíodo de días cortos (Grafica 3). El análisis de varianza para el porcentaje de fertilidad no varió para las horas luz ($p = 0.06$), mientras que para las horas de oscuridad no fueron estadísticamente diferentes ($p = 0.34$).

La glándula pineal sintetiza concentraciones altas de melatonina durante la noche, y con una mayor amplitud durante días cortos de invierno que durante los días largos de verano, por lo que se sugiere que el fotoperíodo es la señal que modula la fertilidad en la vaca.

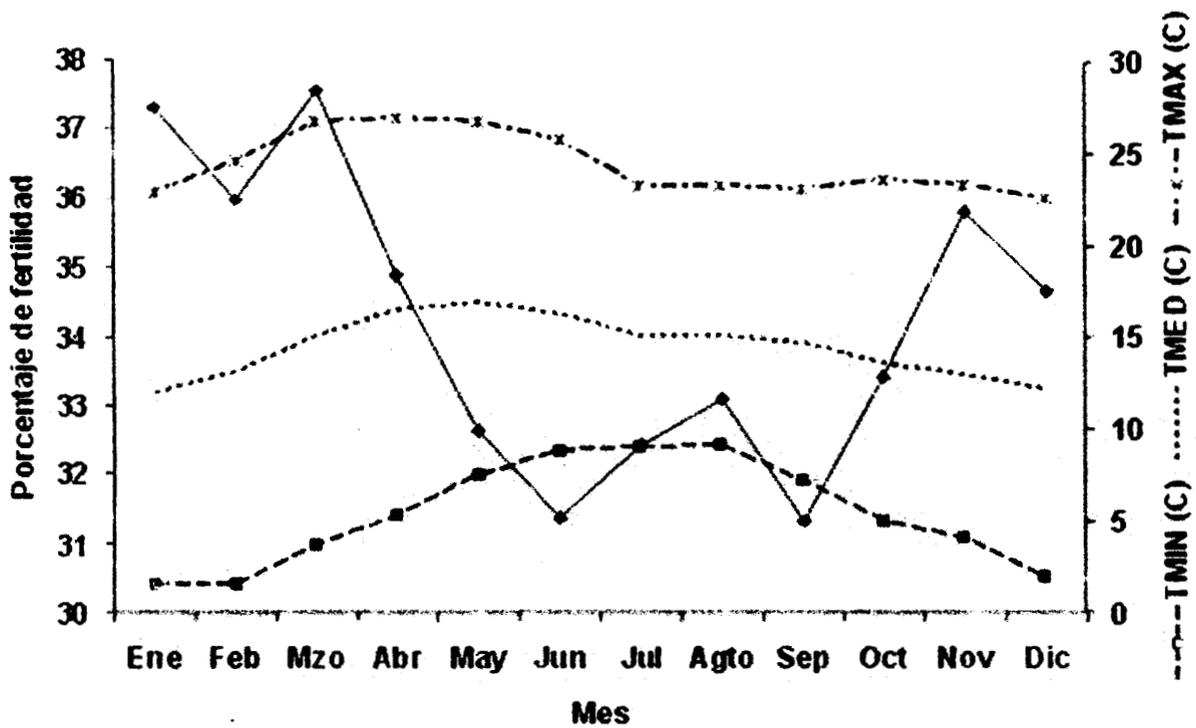


Gráfica 3. Relación entre el porcentaje de fertilidad y la media de horas luz durante los diferentes meses del año en el Rancho "La Quinta" en Actopan Hidalgo, México.

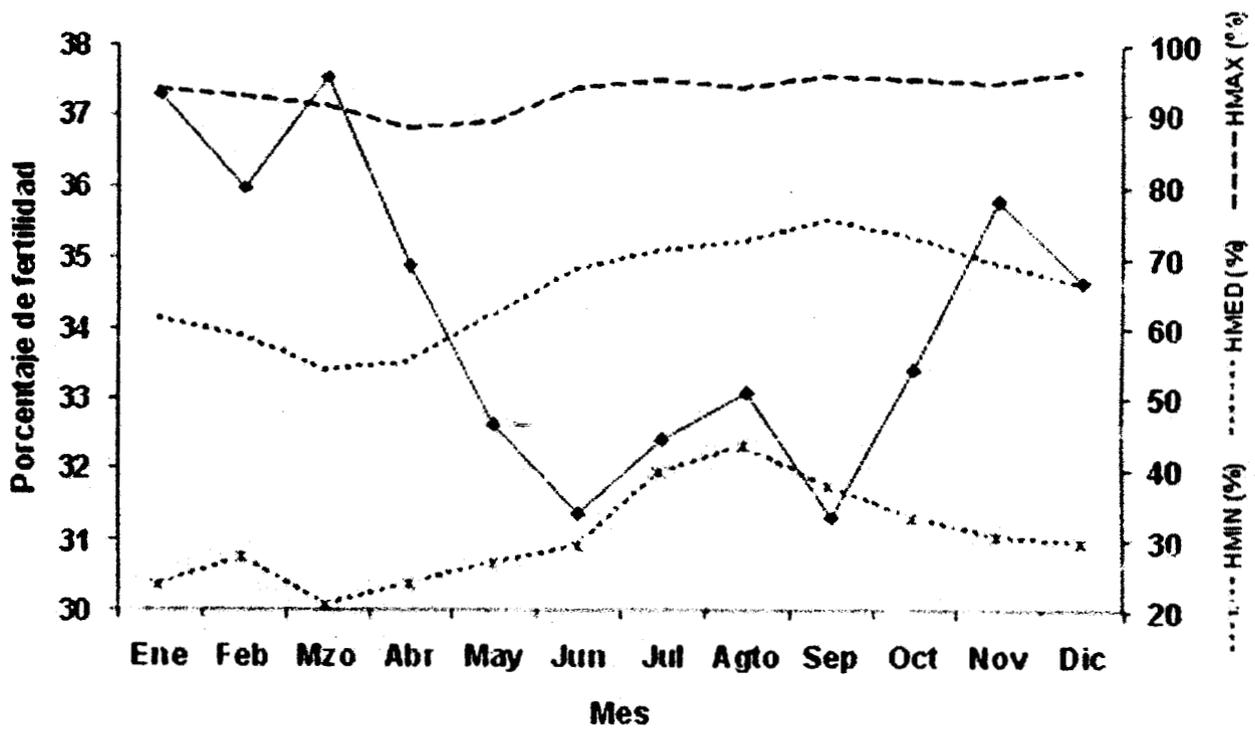
VARIABLES CLIMATICAS Y FERTILIDAD

Las medias de las variables climáticas de estudio: temperatura media (TMED), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), humedad relativa media (HRMED), humedad relativa máxima (HRMAX) y humedad relativa mínima (HRMIN), fueron de 14.49, 24.49 , 5.37°C, 65.52, 93.44 y 30.42% respectivamente.

Los meses con TMIN, TMED y TMAX media máxima y mínima fueron agosto (9.09) y enero (1.5°C), mayo (16.96) y enero (12.11°C), y mayo (26.90) y diciembre (22.63°C); mientras que la HRMIN, HRMED y HRMAX comprendieron los meses de agosto (43.40) y marzo (20.90%), septiembre (75.40) y marzo (54.20%), y septiembre (95.60) y abril (88.40%) (Gráfica 4 y 5).



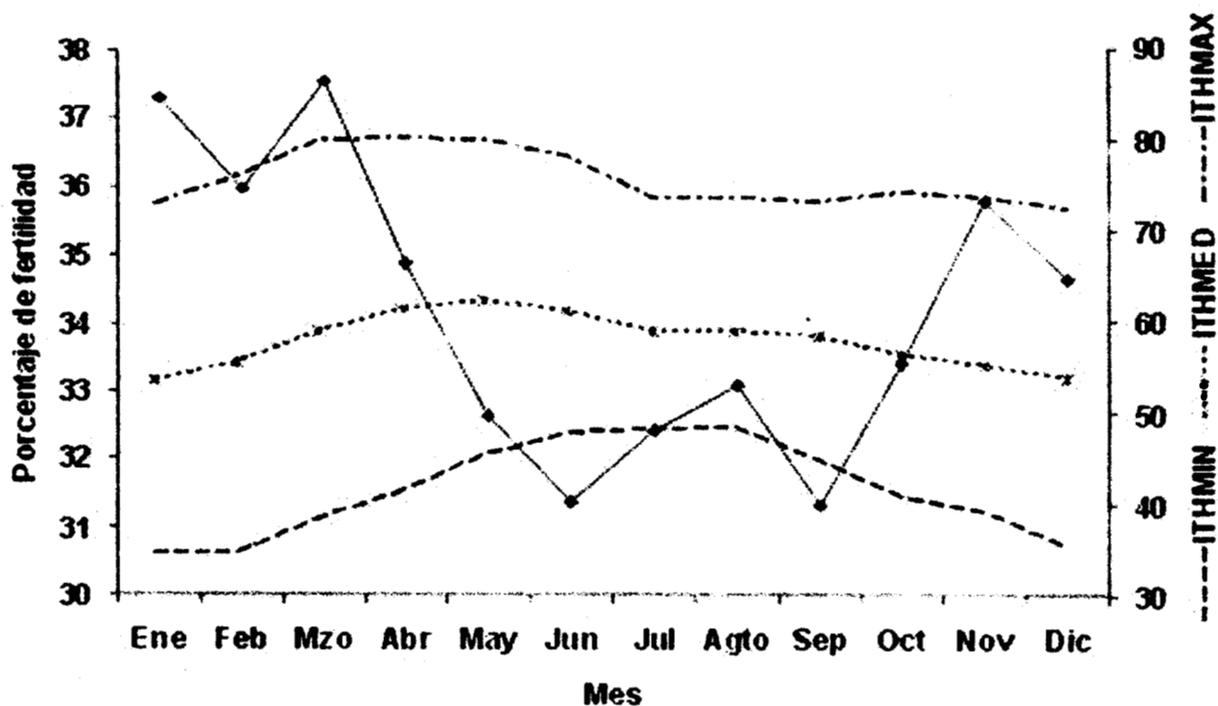
Grafica 4. Temperatura máxima (TMAX), media (TMED) y mínima (TMIN), en relación al porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas en Actopan Hgo., México.



Grafica 5. Humedad relativa máxima (HRMAX), media (HRMED) y mínima (HRMIN), en relación al porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas en Actopan Hgo., México.

Los meses con un índice de temperatura humedad mínima (ITHMIN) media máxima y mínima fueron agosto (48.33) y enero, mientras que para el ITHMAX comprendieron los meses de abril (80.25) y diciembre (72.35) respectivamente (Grafica 6).

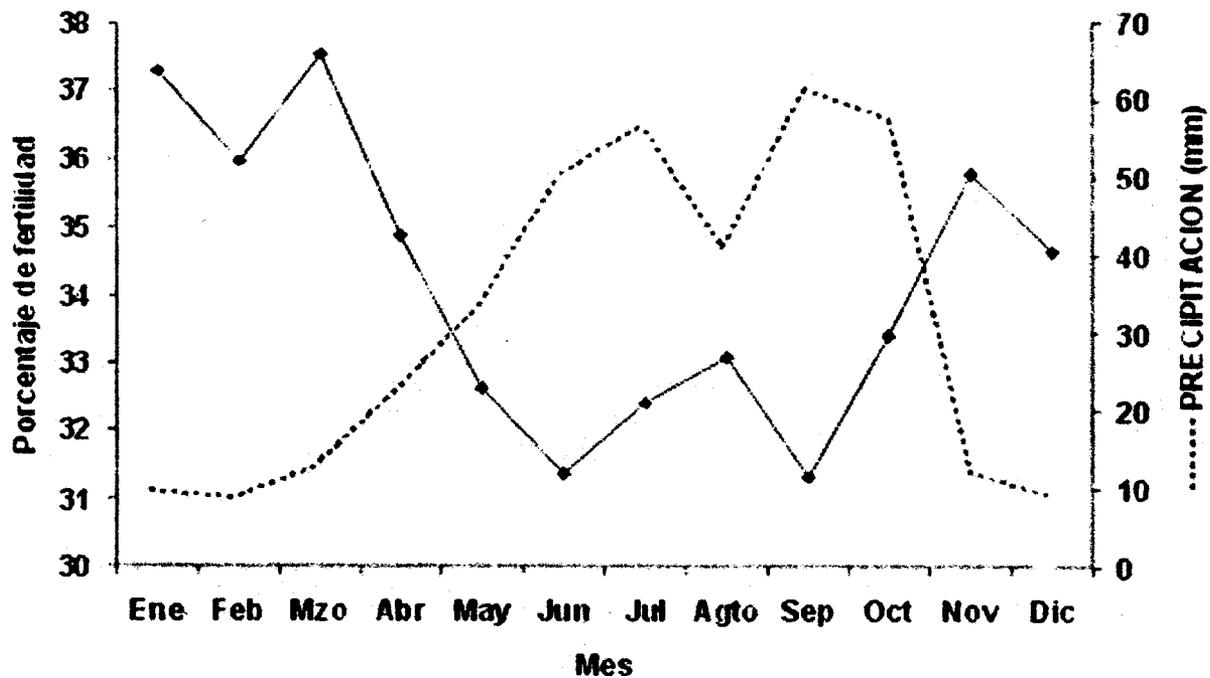
La media de los ITHMED mensual oscilaron entre 53.59 y 56.39 para los meses de octubre a febrero, mientras que para los meses de marzo a septiembre oscilaron entre 58.31 y 62.32; por otro lado la media del ITH diario para el estudio fue de 57.92.



Grafica 6. Índice de temperatura-humedad máxima (ITHMAX), media (ITHMED) y mínima (ITHMIN), en relación al porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas en Actopan Hgo., México.

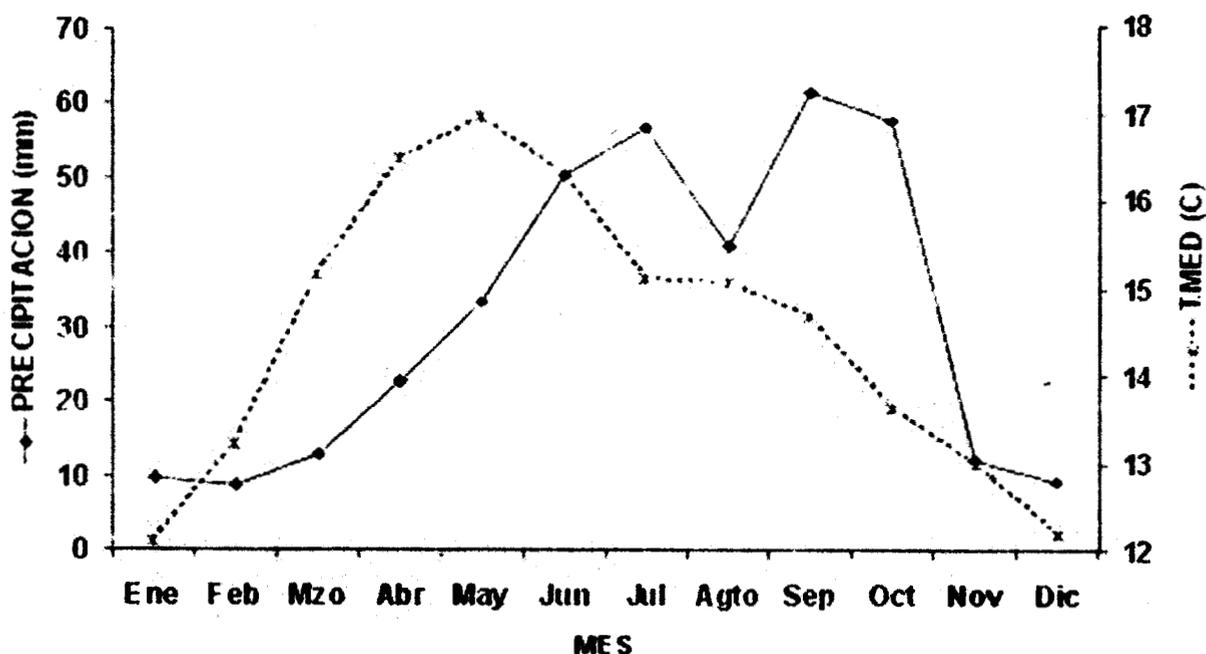
El mes con el mayor ITHMED fue mayo (62.32) con un porcentaje de fertilidad media de 32.63, mientras que Ingraham y col., 1974 reportan un ITH de 66 y un porcentaje de fertilidad de 67%, reduciéndose hasta un 10% con un índice de 84.

En Hidalgo los meses con menor precipitación mensual media fueron de noviembre a marzo (mediados de otoño y durante la primavera), siendo los meses con mayor y menor precipitación octubre y febrero respectivamente (62 vs 8.76 mm). La precipitación (PP) anual y mensual media fue de 380 y 31.73 mm respectivamente, los meses con mayor precipitación son de abril a octubre (Grafica 7).



Grafica 7. Precipitación mensual, en relación al porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas en Actopan Hgo., México.

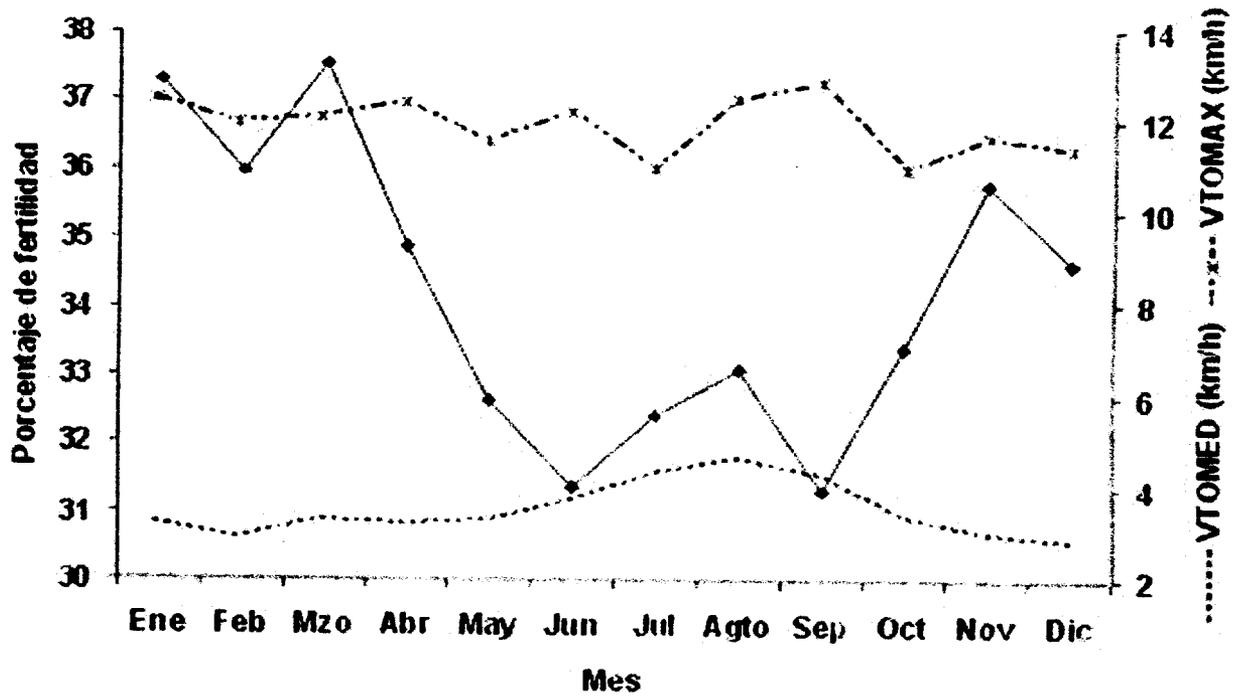
La precipitación y temperatura mensual media fue de 10.5 y 13.1 vs 46.1 mm y 15.5°C, y la fertilidad 36.3 vs 32.7% durante la estación de secas (noviembre-marzo) y de lluvias (abril-octubre) respectivamente, siendo el efecto de las estaciones sobre la fertilidad estadísticamente significativa ($p < 0.05$) (Grafica 8). Leyva-Ocariz y colaboradores (1996) reportan bajo condiciones tropicales que el índice de preñez en la estación de lluvias y secas fueron de 72 y 42% respectivamente, estos resultados indican que durante una estación de secas, elevadas concentración de cortisol puede reducir la progesterona secretada por el cuerpo lúteo.



Grafica 8. Asociación entre la precipitación mensual y la temperatura media (TMED) en vacas Holstein en Actopan Hgo. durante el período de 1991-2000.

Los porcentajes de fertilidad fueron correlacionados con la TMIN, -0.82; PP, -0.86; así como la HRMED, -0.69; HRMIN, -0.65; y VMED, -0.65; también Ingraham y col., 1974 correlaciono la TMIN, -0.90; TMAX, -0.78; y HRMED, -0.51; con el porcentaje de fertilidad ($p < 0.01$). Badinga y colaboradores (1985) también encontró una correlación negativa de la fertilidad con la precipitación un día después de la inseminación artificial.

De las diferentes variables climáticas de estudio, la temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), humedad relativa mínima (HRMIN) y velocidad del viento máxima (VTOMAX) a lo largo del período de estudio resultaron ser significativas ($p < 0.05$); mientras que el índice temperatura-humedad media (ITHMED) no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 1).



Grafica 9. Relación entre la velocidad del viento máxima (VTOMAX) y media (VTOMED) y el porcentaje mensual de la variación estacional de la fertilidad en vacas Holstein en Actopan Hgo. durante el periodo de 1991-2000.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de fertilidad

VARIABLE	N	Media	DE	FERTILIDAD
TEMPERATURA				
Media	120	14.49	1.87	p = 0.23
Máxima	118	24.49	2.33	p = 0.02
Mínima	119	5.37	3.27	p = 0.03
HUMEDAD RELATIVA				
Media	119	65.52	8.60	p = 0.19
Mínima	119	30.42	10.06	p = 0.04
Máxima	119	93.44	5.18	p = 0.16
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL	120	31.28	35.48	p = 0.61
VELOCIDAD DEL VIENTO				
Media	119	3.50	1.14	p = 0.60
Máxima	119	11.93	2.95	p = 0.04
ITH				
Media	119	57.90	3.37	p = 0.10
Mínima	119	41.63	5.89	p = 0.34
Máxima	118	75.70	4.18	p = 0.15
DE = Desviación estándar; ITH = Índice de temperatura-humedad				
N = Meses				

CONCLUSIONES

1.- Para el porcentaje de fertilidad no se presento un patrón anual o bianual en la fertilidad que se repitiera durante el periodo que comprendió el estudio (1991-2000).

2.- El porcentaje de fertilidad a lo largo de las diferentes estaciones del año, durante el periodo de estudio (1991 - 2000) y las estaciones a lo largo del periodo resultaron ser diferentes, sin embargo al hacer una comparación entre los meses evaluados de los diferentes años se encontró que no hubo diferencias significativas.

3.- La fertilidad fue afectada por las variables climáticas como son temperatura máxima y mínima, humedad relativa mínima y velocidad del viento máximo, por lo que se puede concluir que estos factores tienen un papel importante sobre la fertilidad de la vaca.

4.- Una baja fertilidad esta asociada con el aumento de la temperatura media, precipitación, humedad relativa media, humedad relativa mínima y velocidad del viento media, de las cuales estadísticamente se observo que el factor climático más determinante para que disminuya la fertilidad en este estudio es la precipitación.

LITERATURA CITADA

- Ageeb, A.G., and J.F. Hayes. 2000. Reproductive responses of Holstein-Friesian cattle to the climatic conditions of central Sudan. *Trop. Anim. Health and Prod.* 32:233-43.
- Ahmad, N., F.N. Schrick, R.L. Butcher, and E.K. Inskeep. 1994. Fertilization rate and embryo development in relation to persistent follicles and peripheral estradiol-17beta in beef cows. *Biol. Reprod.* 50:(Supplement 1) 65.
- Al-Katanani, Y.M., D.W. Webb, and P.J. Hansen. 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-day nonreturn rate to first service in lactating holstein cows in a hot climate. *J. Dairy Sci.* 83:2611-16.
- Ayalon, N. 1978. A review of embryonic mortality in cattle. *J. Reprod. Fert.* 54:483-93.
- Badinga, L., R.J. Collier, W. W. Thatcher, and C.J. Wilcox. 1985. Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 68:78-85.
- Badinga, L., M.A. Driancourt, J.D. Savio, D. Wolfenson, and W.W. Thatcher. 1991. Changes in follicular development, aromatasa activity and follicular steroids in dominant and subordinate follicles at days 5, 8 and 12 of the estrous cycle in cattle. *Boil. Reprod.* 44 (supl 1):70.
- Badinga, L., W.W. Thatcher, T. Diaz, M. Drost, and D. Wolfenson. 1993. Effect of environmental heat strees on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cow. *Theriogenology.* 39:797-810.
- Badinga, L., W.W. Thatcher, C.J. Wilcox, G. Morris, K. Entwistle, and D. Wolfenson. 1994. Effect of season on follicular dynamics and plasma concentrations of estradiol-17 β , progesterone and luteinizing hormone in lactating Holstein cow. *Theriogenology* 42:1263-74.
- Bell, D.J., J.C. Spitzer, and G.L. Burns. 1998. Comparative effects of early weaning or once-daily suckling on occurrence of postpartum estrus in primiparus beef cows. *Theriogenology.* 50:707-25.
- Berman, A.Y., M. 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 subtropical climate. *J Dairy Sci.* 68:1488-95.

- Biggers, B. G., R. D. Geisert, R.P. Wetteman, and D.S. Buchanan. 1987. Effect of heat stress on early embryonic development in the beef cow. *J. Anim. Sci.* 64:1512-18.
- Breuel, K.F., P.E. Lewis, F.N. Scrick, A.W. Lishman, E.K. Inskeep, and R.L. Butcher. 1993. Factors affecting fertility in the postpartum cow: role of the oocyte and follicle in conception rate. *Biol. Reprod.* 48:655-61.
- Bucholtz, D.C., N.M. Vidwans, C.G. Herbosa, K.K. Schillo, and D.L. Foster. 1996. Metabolic interfaces between growth and reproduction. V. Pulsatile luteinizing hormone secretion is dependent on glucose availability. *Endocrinology.* 137:601-07.
- Bulman, D.C., and G.E. Lamming. 1978. Milk progesterone levels in relation to conception, repeat breeding and factors influencing acyclicity in dairy cows. *J. Reprod. Fert.* 54:447-58.
- Butler, W.R., J. J. Calaman, and S. W. Beam. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 74:858-65.
- Critser, J.K., K.J. Miller, F.C. Gunsett, and I.J. Ginther. 1983. Seasonal LH profile in ovariectomized cattle. *Theriogenology.* 19:181-91.
- Dutt, R. H. 1963. Critical period for early embryo mortality in ewes exposed to high ambient temperature. *J. Anim. Sci.* 22:713-19.
- 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.
- Edwards, J. L., and P.J. Hansen. 1996. Elevated temperature increases heat shock protein 70 synthesis in bovine two-cell embryos and compromises function of maturing oocytes. *Biol. Reprod.* 55:341-46.
- Edwards, J.L., and P.J. Hansen. 1997. Differential response of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol. Reprod. Dev.* 46:138-45.
- El Amin, F.M., N.A. Simerl, and C.J. Wilcox. 1986. Genetic and environmental effect upon reproductive performance of Holstein crossbreds in the Sudan. *J. Dairy Sci.* 69:1093-97.
- Foote, R.H. 1979. Time of artificial insemination and fertility in dairy cattle. *J. dairy Sci.* 62:355-58.

- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. 4ta. Edición México UNAM.
- Gauthier, D. 1986. The influence of season and shade on Oestrus behavior, timing of preovulatory LH surge and the pattern of progesterone secretion in FFPN and Creole heifers in a tropical climate. *Reprod. Nutrition and Dev.* 26:767-75.
- Gilad, E., R. Meidan, A. Berman, Y. Graber, and D. Wolfenson. 1993. Effect of heat stresses on tonic and GnRH-induced gonadotrophin secretion in relation to concentration of oestradiol in plasma of cyclic cows. *J. Reprod. Fert.* 99:315-21.
- Gwazdauskas, F.C., C.J. Wilcox, and W.W. Thatcher. 1975. Enviromental and managemental factors affecting conception rate in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 58:88-92.
- Gwazdauskas, F.C., W.W. Thatcher, C.A. Kiddy, M. J. Paape, and C. J. Wilcox. 1981. Hormonal pattern during heat stress following than salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology.* 16:271-85.
- Gwazdauskas, F.C., J.A. Lineweaver, and W.E. Vinson. 1981b. Rates of conception by artificial insemination of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 64:358-62.
- Hayes, J.F., R.I. Cue, and H. G. Monrades. 1992. Estimates of repeatability of reproductive measures in Canadian Holstein. *J. Dairy Sci.* 75:1701-06.
- Henderson, K.M., L.E. Kieboom, K.P. McNatty, S. Lun, and D.A. Heath. 1984. ¹²⁵I-hCG binding to bovine thecal tissue from healthy and atretic antral follicles. *Mol. Cell. Endocrinology.* 34:91-8.
- Her E., D. Wolfenson, I. Flamenbaum, I. Folman, M. Kaim, and A. Berman. 1988. Thermal, productive, and reproductive responses of high yielding cows exposes to short-term cooling in summer. *J. Dairy Sci.* 71:1085-92.
- Hillers, J.K., P.L. Senger, R.L. Darlington, and W.N. Fleming. 1984. Effects of production, season, age of cow, days dry, and days in milk on conception to first service in large commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 67:861-67.
- Ingraham, R.H., D.D. Gillette, and W.D. Wagner. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *J. of Dairy Sci.* 57:476-81.

- Ingraham, R.H., R. W. Stanley, and W.C. Wagner. 1976. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in Hawaii. *J. Dairy Sci.* 59:2086-90.
- Inskeep, E.K. 1995. Factors that affect fertility during oestrus cycles with short on normal luteal phases in postpartum cows. *J. Reprod. Fert. Supplement.* 49:496-503.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1996. Síntesis Geográfica. Nomenclator y Anexo Cartográfico del Edo. de México, México.
- Johnson H.D. 1987. Bioclimate Effects on growth, reproduction and milk Production. In: *Bioclimatology and the Adaptation of Livestock*. Ed: Neimann-Sorensen, A., D.E. Tribe. Elsevier Science Publishers B. V. World Animal Science, B5. New York, NY. pp. 32-57.
- Johnson, S.K., R. P. Del Vecchio, E.C. Townsend, and E.K. Inskeep. 1992. Role of prostaglandin F_{2α} in follicular development and subsequent luteal life span in early postpartum beef cow. *Dom. Anim. Endocrinology.* 9:49-56.
- Jonsson, N.N., M.R. McGowan, K. McGuigan, T.M. Davison, A.M. Hussain, M. Kafi, and A. Matschoss. 1997. Relationships among calving season, heat load, energy balance and postpartum ovulation of dairy cows in a subtropical environment. *Anim. Reprod. Sci.* 46:315-26.
- Kanuya, N.L., and T. Greve. 2000. Effect of parity, season and FSH treatment on the calving interval of Ayrshire cows in the tropics. *Trop. Anim. Health and Prod.* 32:197-204.
- Kesler, D.J., and H.A. Garverick. 1982. Ovarian cysts in dairy cattle: a review. *J. Anim Sci.* 55:1147-59.
- Kesner, J.S., E.M. Convey, and C.R. Anderson. 1981. Evidence that estradiol induces the preovulatory LH surge in cattle by increasing pituitary sensitivity to LHRH and then increasing LHRH release. *Endocrinology.* 108:1386-91.
- Larson, S.F., W.R. Butler, and W.B. Currie. 1997. Reduced fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea nitrogen in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80: 1288-95.
- Leyva-Ocariz, H., G. Querales, J. Saavedra, and A. Hernández. 1996. Corpus luteum activity, fertility, and adrenal cortex response in lactating carora cows during rainy and dry seasons in the tropics of Venezuela. *Dom. Anim. Endocrinology.* 13:297-306.

- Lucy, M. C., C.R. Staples, F.M. Michael, and W. W. Thatcher. 1991. Effect of feeding calcium soaps to early postpartum dairy cows on plasma prostaglandin $F_{2\alpha}$, luteinizing hormone, and follicular growth. *J. Dairy Sci.* 74:483-89.
- Lucy, M.C., J.D. Savio, L. Badinga, R.L. De La Sota, and W.W. Thatcher. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3615-26.
- Lukaszewska, J., and W. Hansel. 1980. Corpus luteum maintenance during early pregnancy in the cow. *J. Reprod. Fert.* 59:485-93.
- Madan, M.I, and H.D. Johnson. 1973. Enviromental heat effects on bovine luteinizing hormone. *J. Dairy Sci.* 56:1420-23.
- Makuza, S., and B.T. McDaniel. 1996. Effects of days dry, previous days open, and current days open on milk yield of cows in Zimbabwe and North Carolina. *J. Dairy Sci.* 79:702-09.
- Maurer, R.R., and S.E. Echterkamp. 1982. Hormonal asynchrony and embryonic development. *Theriogenology.* 17:11.
- Maurer, R.R., and J.R. Chenault. 1983. Fertilization failure and embryonic mortality in parous and nonporous beef cattle. *J. of Anim. Sci.* 56:1186-89.
- McNatty, K.P., N. Hudson, M. Gibb, K.M. Henderson, S. Lun, D. Heath, and G.W. Montgomery. 1984. Seasonal differences in ovarian activity in cows. *J. Endocr.* 102:189-98.
- Mercier, E., and G.W. Salisbury. 1947. Seasonal variation in hours of daylight associated with fertility level of cattle under natural breeding conditions. *J. Dairy Sci.* 30:747-753.
- Montgomery, G.W., G.H. Davis, and G.A. Hurrell. 1980. Interval from calving to first oestrus in autumm-and spring-calving herds in the same locality. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 40:280-84.
- Morales, R.S., Hernández C.J., Rodríguez T.G., and Peña F.R. 2000. Comparación del porcentaje de concepción y la función lútea en vacas de primer servicio, vacas repetidoras y vaquillas Holstein. *Vet. Méx.* 31:179-184.
- Nadaraja, R., and W. Hansel. 1976. Hormonal changes associated with experimentally produced cystic ovaries in the cow. *J. Reprod. Fert.* 47:203-8.

- Olivera, L.J., and Jaramillo J.T. 2001. Fotoperíodo y reproducción animal. In: Reproducción y Manejo de Fauna Silvestre. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México, D. F. pp. 36-52.
- Peters, A.R., and G.M. Riley. 1982. Is the cow a seasonal breeder?. *Br. Vet.* 138:533-37.
- Putney, D.J., J.R. Malayer, T.S. Gross, W.W. Thatcher, P.J. Hansen, and M. Drost. 1988. Heat stress-induced alterations in the synthesis and secretion of proteins and prostaglandins by cultured bovine conceptus and uterine endometrium. *Biol. Reprod.* 39:717-28.
- Putney, D.J., S. Mullins, W.W. Thatcher, M. Drost, and T.S. Gross. 1989. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim. Reprod. Sci.* 19:37-51.
- Reiter, R.J. 1993. The melatonin rhythm: both a clock and calendar *Experientia.* 49:654-633.
- Roman-Ponce, H., W.W. Thatcher, and C.J. Wilcox. 1981. Hormonal interrelationships and physiological responses of lactating dairy cows to a shade management system in a subtropical environment. *Theriogenology.* 16:139-154.
- Rosenberg, M., Y. Folman, Z. Herz, I. Flamenbaum, A. Berman, and M. Kaim. 1982. Effect of climatic conditions on peripheral concentrations of LH, progesterone and oestradiol-17 β in high milk-yielding cows. *J. Reprod. Fert.* 66:139-146.
- Salisbury, G.W., N.L. VanDemark, and J.R. Lodge. 1978. *Physiology of reproduction and Artificial Insemination of Cattle*, pp. 651-655. Freeman Press, San Francisco.
- SAS Institute, Inc. 1990. *SAS® for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures.* SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Savio, J.D., M.P. Boland, N. Hynes and F. Roche. 1990. Resumption of follicular activity in the early post-partum period of dairy cows. *J. Reprod. Fert.* 88:569-79.
- Shelton, K., M.F. Gayerie De Abreu, M.G. Hunter, T.J. Parkinson, and G.E. Lamming. 1990. Luteal inadequacy during early luteal phase of subfertile cow. *J. Reprod. Fert.* 90:1-10.

- Smith, C.V. 1989. Meteorological glossary. In: Animal Health and production at extremes of weather, World Meteorological Organization. Technical note No. 191, 6-10.
- Sreenan, J. M., and M.G. Diskin. 1983. Early embryonic mortality in the cow: its relationship with progesterone concentration. *Vet. Rec.* 112:517-21.
- Stevenson, J.S., M.K. Schmidt, and E.P. Call. 1983. Estrous intensity and conception rates in Holstein. *J. Dairy Sci.* 66:275-80.
- Stott G.H., and F. Wiersma. 1976. Short term thermal relief for improved fertility in dairy cattle during hot weather. *Int. J. of Biometeorology.* 20:344-49.
- Thibault, C., M. Courot, L. Martinet, P. Mauleon, F. Du Mesnil du Buisson, R. Ortavant, J. Pelletier, and J.P. Signoret. 1966. Regulation of breeding season and estrus cycles by light and external stimuli in some mammals. *J. anim. Sci.* 25:suppl. 119-39.
- Villa-Godoy, A., T.L. Hughes, R.S. Emery, L.T. Chapin, and R.L. Fogwell. 1988. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:1063-72.
- Villeneuve P., J.J. Dufour, and L.A. Guilbault. 1988. Influence of infusion of prostaglandin F_{2α} and weaning on surface and histologic populations of ovarian follicles in early post-partum beef cows. *J. Anim. Sci.* 66:3174-84.
- Wilcox, C.J., W.W. Thatcher, and F.G. Martin. 1990. Statical analysis of repeated measurements in physiology experiments. *J. Series* 9552:141-155. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Wilson, S.J., R.S. Marion, J.N. Spain, D.E. Spiers, D.H. Keisler, and M.C. Lucy. 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81:2124-31.
- Wilson, S.J., C.J. Kirby, A.T. Koenigsfeld, D.H. Keisler, and M.C. Lucy. 1998b. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. *J. Dairy Sci.* 81:2133 o 32 -38.
- Wise, M.E., D.V. Armstrong, J.T. Huber, R. Hunter, and F. Wiersma. 1988. Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *J. Dairy Sci.* 71:2480-85.
- Wisharty, D.F. 1977. Synchronization of oestrus in heifers using steroid treatments for 21 days; the effect of treatment on the ovum collection and fertilization rate and the development of the early embryo. *Theriogenology.* 8:249-69.

- Wolfenson, D., I. Flamenbaum, and A. Berman. 1988. Hyperthermia and body energy store effects on estrous behavior, conception rate, and corpus luteum function in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:3497-3504.
- Wolfenson, D., O. Luft, A. Berman, and R. Meidan. 1993. Effect of season, incubation temperature and cell age on progesterone and prostaglandin F2 α production in bovine luteal cell. *Anim. Reprod. Sci.* 32:27-40.
- Wolfenson, D., W.W. Thatcher, L. Badinga, J.D. Savio, R. Meidan, B.J. Lew, R. Braw-Tal, and A. Berman. 1995. Effect of heat stress on follicular development during the estrus cycle in lactating dairy cattle. *Biol. Reprod.* 52:1106-13.
- Wolfenson, D., B.J. Lew, W.W. Thatcher, Y. Graber, and R. Meidan. 1997. Seasonal and acute heat stress effects on steroids production by dominant follicles in cows. *Anim. Reprod.* 47:9-19.
- Zollers, W.G., H.A. Garverick, M.F. Smith, R.J. Moffatt, B.E. Salfen, and R.S. Youngquist. 1993. Concentrations of progesterone and oxytocin receptors in endometrium of postpartum cows expected to have a short or normal oestrus cycle. *J. Reprod. Fert.* 97:329-37.