

Efecto del estrés calórico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México*

Effect of heat stress and its interaction with other management and productive variables on pregnancy rate in dairy cows in Aguascalientes, Mexico

Renato Raúl Lozano Domínguez** Carlos Gustavo Vásquez Peláez*** Everardo González Padilla***

Abstract

The objectives of the study were to determine the effects of month of service and the temperature-humidity index on the day of service and its interactions with other management and productive variables on pregnancy rate (PR) in dairy cows. The study was carried out in seven dairy farms in Aguascalientes. A negative relationship was observed between the average temperature-humidity index (THI) and pregnancy rate (PR) ($P < 0.01$), where with each unit of increase in THI, PR was reduced by 1.03% ($P < 0.01$). PR was lower from May to September in relation to the observed from October to April ($P < 0.05$). Cows with milk production above 8 500 l had lesser PR ($P < 0.05$) in October, November, December and January ($P < 0.05$). The temperature-humidity index on the day of service (THIS) affected PR in all production groups. However, in cows producing more than 8 500 l, the negative effect of THIS was observed only when it was above 75.9, in comparison with less productive cows that were negatively affected from THIS = 74. This may have occurred because of the low PR (< 35%) of the higher producing cows even at comfortable THIS conditions. At THIS = 76 or larger, there were no differences in pregnancy rate (PR) due to milk production. Primiparous cows had more PR than multiparous cows ($P < 0.01$). PR of cows was not affected by treatment with somatotropin ($P > 0.05$). Cows with three milkings per day and herds with more than 1 000 cows had lower PR ($P < 0.01$). The interaction of THIS with the number of calvings, use of somatotropin or the number of milkings was not significant on PR ($P > 0.05$). PR of cows was affected by the month of service and the temperature-humidity index. Nevertheless cows with the highest production, the effect was greater and it was maintained longer.

Key words: FERTILITY, DAIRY COWS, HEAT STRESS, MILK PRODUCTION.

Resumen

Los objetivos del estudio fueron determinar los efectos del mes de servicio y los índices temperatura-humedad el día del servicio y sus interacciones con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación (GEST) en vacas lecheras. El estudio se realizó en siete hatos lecheros de Aguascalientes. Una relación negativa fue observada entre el índice temperatura-humedad promedio del mes de servicio (THI) y la GEST ($P < 0.01$), donde por cada unidad de incremento del THI se redujo la GEST en 1.03% ($P < 0.01$). La GEST fue menor de mayo a septiembre que de octubre a abril ($P < 0.05$). Las vacas con PROD mayor a 8 500 l tuvieron menor GEST en octubre, noviembre, diciembre y enero ($P < 0.05$), que las de PROD menor. Los índices temperatura-humedad el día del servicio (THIS) afectó la GEST en vacas de todos los estratos de producción. Sin embargo, en vacas con producción mayor a 8 500 l, el THIS mostró efecto negativo en GEST a valores mayores a 75.9, en comparación con las

Recibido el 2 de agosto de 2004 y aceptado el 25 de enero de 2005.

* Este trabajo forma parte del proyecto financiado por el Conacyt (31457-B), la Fundación Produce Aguascalientes, A. C. y la Asociación de Productores de Leche del estado de Aguascalientes.

** Centro Regional de Investigación Norte-Centro del INIFAP, Campo Experimental Pabellón, km 32.5, Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Rincón de Romo, Aguascalientes, México, Tel. 046 595 958 0167, Correo electrónico: renato_lozano@hotmail.com

*** Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

vacas de menor producción que fueron afectadas desde THIS 74. Esto pudo deberse a la baja GEST de las vacas de alta producción (< 35%), aun en THIS confortables. A THIS mayores a 76 no se observaron diferencia en GEST debidas al nivel de producción. Las vacas primíparas mostraron mejor GEST que las multíparas ($P < 0.01$). El uso de somatotropina no afectó la GEST ($P > 0.05$). Las vacas con tres ordeños y hatos con más de 1 000 vacas tuvieron menor GEST ($P < 0.01$). Las interacciones de THIS con el número de partos, con la administración de somatotropina o no y con el número de ordeños no fueron significativas sobre GEST ($P > 0.05$). La gestación fue afectada por el mes de servicio y por el índice temperatura-humedad. Sin embargo, el efecto es mayor y más perdurable en vacas con mayor PROD.

Palabras clave: FERTILIDAD, VACAS LECHERAS, ESTRÉS CALÓRICO, PRODUCCIÓN LÁCTEA.

Introduction

Reproductive programs in intensive dairy production systems have been established in order to obtain an optimal interval between calvings, which represents greater economic returns.^{1,2} If the interval between calvings is above optimum, there is a higher probability that the dry period becomes longer and the production at the following lactation period decreases,² which constitutes a potential reduction of the useful life of the cow.

Subfertility has been defined as a condition that impedes the establishment of pregnancy after uterine involution has been completed.³ This characteristic is affected by a large quantity of factors such as physical condition, diseases during postpartum, mastitis, milk production, and calving season, among others.^{4,5}

High temperatures and relative humidity in the environment, which are common in summer in the majority of the dairy basins of Mexico, frequently surpass the capacity of the normal mechanisms of heat dissipation in animals. This, in turn, causes heat stress conditions which affect their physiology and homeostasis and are reflected in a decrease in voluntary feed intake, milk production^{6,7} and reproductive efficiency.^{8,9}

In Mexico, it has been observed that in intensive dairy production systems, there is a significant decrease in the pregnancy percentage during the hot months of the year.^{10,11} Heat stress has an effect on reproduction when it occurs days before, during and after ovulation.¹²⁻¹⁴ Furthermore, a negative effect of heat stress on embryo viability has been observed in the first days of their development.^{15,16}

Intensification of the dairy production systems has been accompanied with a decrease in the reproductive efficiency of the herds. In the last 25 years, it has been reported that the increase in milk production has been accompanied with a reduction of around 0.5% and 1% per year, in fertility at first service.^{3,17,18} An increase in open days^{19,20} and a delay in restart of ovarian activity,^{13,21} as well as first service postpartum²² have also been observed.

Introducción

Los programas reproductivos en los sistemas intensivos de producción de leche se han establecido para obtener un intervalo óptimo entre partos, lo que representa mayor utilidad económica.^{1,2} Si el intervalo entre partos es superior al óptimo, se incrementa la probabilidad de que el periodo seco sea mayor y se reduce la producción en la siguiente lactancia,² lo que constituye una pérdida potencial de la vida útil de la vaca.

La subfertilidad se ha definido como una condición que impide el establecimiento de la preñez después de haberse completado la involución uterina.³ Esta característica es afectada por gran cantidad de factores, como la condición física, enfermedades durante el posparto, mastitis, producción láctea, épocas de parto, entre otras.^{4,5}

Las altas temperaturas y la humedad relativa del ambiente, que son comunes en el verano en la mayor parte de las cuencas lecheras de México, con frecuencia rebasan la capacidad de los mecanismos normales de los animales para la disipación del calor, provocando condiciones de estrés calórico que afectan su fisiología y homeostasis y que se reflejan en la disminución del consumo voluntario de alimentos, de la producción láctea^{6,7} y de la eficiencia reproductiva.^{8,9}

En sistemas intensivos de producción de leche en México se ha observado una reducción significativa del porcentaje de concepción en los meses calurosos del año.^{10,11} El estrés calórico afecta la reproducción cuando ocurre días antes, durante y después de la ovulación.¹²⁻¹⁴ Asimismo, se ha observado un efecto negativo del estrés calórico sobre la viabilidad embrionaria en los primeros días de su desarrollo.^{15,16}

La intensificación de los sistemas de producción de leche se ha acompañado de una disminución en la eficiencia reproductiva de los hatos. Se ha descrito que el incremento en la producción de leche se ha acompañado con una reducción en la fertilidad del primer servicio entre 0.5% y 1% anual en los últimos 25 años.^{3,17,18} Se ha observado también un incremento

Even though there is a negative relationship between fertility and heat stress and with the increase in the production of dairy cows, it is unknown if the effect of the interaction between individual production and heat stress could decrease fertility even more during the hot months of the year. In a recent study, it was observed that the degree of depression of the non-return to estrus rate at 90 days (NRER) was accentuated in cows with greater milk production potential;²³ however, the NRER overestimates the pregnancy rate and no other factors that could influence this variable are analyzed. On the other hand, the current intensive production systems use technologies such as the administration of bovine somatotropin and the increase in the number of milkings per day, whose interaction with the effect of heat stress in reproduction has also not been estimated.

The objectives of the study were to estimate the effects of the month of service and the temperature-humidity index at the day of service and their interactions with the level of milk production, the pregnancy number, the milking number and the use of bovine somatotropin on the pregnancy rate (PR); furthermore, to determine the association between this rate with the average temperature-humidity index of the month, in seven commercial herds, with intensive dairy production systems in the State of Aguascalientes.

Material and methods

Recording and calculation of the climatic variables

During the study period, from 1999 to 2000, there were obtained daily records of ambient temperature (°C) and relative humidity (RH) from the National Water Commission station in Aguascalientes, located at less than 30 km from the dairy herds in this study. We calculated the temperature-humidity index (THI) in accordance with that which was established by Ingraham *et al.*¹² through the following equation:

$$\text{THI} = ^\circ\text{F} - [(0.55 - ((\text{RH}/100) \times 0.55)) * (^\circ\text{F} - 58)]$$

General characteristics of the dairy herds

The dairy basin of Aguascalientes is located within an irrigation area. The dairy herds are located within a radius of less than 30 km distance. The seven production units of this study use two or three milkings per day and are part of a vertically integrated business, which includes up to the processing and distribution

de los días abiertos^{19,20} y un retraso en el reinicio de la actividad ovárica^{13,21} y del primer servicio posparto.²²

A pesar de conocer la relación negativa de la fertilidad con el estrés calórico y con el incremento en la producción de las vacas lecheras, se desconoce si el efecto de interacción de la producción individual y el estrés calórico puede deprimir aún más la fertilidad en los meses calurosos del año. En un estudio reciente se observó que la magnitud de la depresión de la tasa de no retorno al estro a 90 días (TNRE) fue más acentuada en las vacas con mayor potencial de producción láctea;²³ sin embargo, la TNRE sobreestima la tasa de preñez y no se analizan otros factores que pueden influir sobre esta variable. Por otro lado, los actuales sistemas intensivos de producción utilizan tecnologías como la administración de somatotropina bovina y el aumento en el número de ordeños al día, cuya interacción con el efecto del estrés calórico en la reproducción, que tampoco se ha estimado.

Los objetivos del estudio fueron estimar los efectos del mes de servicio y del índice temperatura-humedad el día del servicio y sus interacciones con el nivel de producción láctea, con el número de parto, con el número de ordeño y con el uso de somatotropina bovina sobre la tasa de gestación; asimismo, determinar la asociación de esta tasa con el índice temperatura-humedad promedio del mes, en siete hatos comerciales de producción intensiva en el estado de Aguascalientes.

Material y métodos

Registro y cálculo de las variables climáticas

Durante el periodo de estudio, de 1999 a 2000, se obtuvieron los registros diarios de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (HR) de la estación de la Comisión Nacional del Agua, en Aguascalientes, ubicada a menos de 30 km de los hatos lecheros en estudio. Se calculó el índice temperatura-humedad (THI) de acuerdo con lo establecido por Ingraham *et al.*¹² mediante la siguiente ecuación:

$$\text{THI} = ^\circ\text{F} - [(0.55 - ((\text{HR}/100) \times 0.55)) * (^\circ\text{F} - 58)]$$

Características generales de los hatos lecheros

La cuenca lechera de Aguascalientes se encuentra dentro de una área de riego. Los hatos lecheros están ubicados en un radio menor a 30 km de distancia entre ellos. Las siete unidades de producción en estudio utilizan dos y tres ordeños al día, y forman parte

of the dairy products and their byproducts. All units in this study had shades in their barns, and manger area; none of these had additional heat mitigation methods. The average and standard deviation of the productive characteristics of the cows were: 2.4 ± 1.5 calvings, 3.2 ± 2.7 services; $8\,433.7 \pm 2\,325.31$ estimated 305 days-in-milk (DIM) production, and 146.6 ± 113.9 days-in-milk. The cows of all herds were fed a balanced diet in accordance with their production state, and the management, preventive medicine and reproduction programs were similar and were under the control of professionals.

Recording of productive information

Field evaluations were carried out with the help of a computer system. We recorded 20 606 artificial insemination services of lactating Holstein cows, with a waiting period that was greater than 20 days postpartum. Out of the records only 15 002 had information on milk production. Each record had the following information: cow number; calving number (CN); previous calving date; day, month (MS) and year of service; service number; days-in-milk at the time of service (DIM); estimated milk production at 305 days (MP) of the current lactation period; if the cow became pregnant or not from the service; if the cow was or not in a bovine somatotropin administration program (BST) in order to increase and maintain production persistence; and general information of the herd such as the number of milkings (NOM) and number of cows per herd.

The herds that had two milkings per day did not have BST administered to them; therefore, the interaction between BST with the number of milkings was not analyzed.

With the objective of knowing the effect of their level of estimated milk production at 305 days (MP) on the pregnancy rate (PR) of the animals, the cows were grouped into three MP levels: MP1, less than 7 000 l ($n = 3\,592$); MP2, between 7 000 and 8 500 l ($n = 3\,515$); MP3, greater than 8 500 l ($n = 7\,895$).

In order to assess the effect of the temperature-humidity index recorded on the day of service (THIS) on PR, the index was classified in five groups: 1) less than 72 ($n = 5\,621$); 2) between 72 and 73.9 ($n = 2\,524$); 3) between 74 and 75.9 ($n = 3\,737$); 4) between 76 and 77.9 ($n = 3\,814$); and 5) greater than 78 ($n = 4\,910$).

The calving number of the cows was grouped into the following: 1) cows of first calving ($n = 7\,540$); 2) cows with two calvings ($n = 5\,072$); 3) cows with three or more calvings ($n = 7\,994$).

The cows were grouped in relation to the number of milkings per day into the following: two milkings ($n = 4\,760$) and three milkings ($n = 15\,846$).

de una organización empresarial integrada hasta el proceso y distribución de los productos lácteos y sus derivados. Todos los hatos en estudio tenían sombra en los corrales y en el área del pesebre, ninguna de éstos tenía métodos de mitigación del calor adicionales. El promedio y la desviación estándar de las características productivas de las vacas fueron: 2.4 ± 1.5 partos; 3.2 ± 2.7 servicios; $8\,433.7 \pm 2\,325.31$ l de producción de leche estimada a 305 días y 146.6 ± 113.9 días en leche. Las vacas en todos los hatos fueron alimentadas con una dieta integral de acuerdo con su estado productivo, y los programas de manejo, de medicina preventiva y de reproducción fueron similares y estuvieron bajo el control de profesionales de la materia.

Registro de la información productiva

Se realizaron evaluaciones de campo con apoyo de un sistema de cómputo. Se capturaron 20 606 registros de inseminación artificial de vacas lactantes de la raza Holstein con intervalo al servicio mayor a 20 días posparto. De los registros sólo 15 002 contaban con información sobre producción láctea. Cada registro contenía la siguiente información: número de la vaca; número de parto (NP); fecha del parto inmediato anterior, día, mes (MS) y año del servicio; número del servicio; los días en leche al momento del servicio (DEL); la producción láctea estimada a 305 días (PROD) de la lactancia en curso; si la vaca resultó gestante o no del servicio; si la vaca estaba o no en un programa de administración de somatotropina bovina (BST) para incrementar y mantener la persistencia de producción, e información general del hato, como el número de ordeños (NORD) y número de vacas por hato.

Los hatos que tuvieron un manejo de dos ordeños al día no administraron BST a las vacas, por lo que las interacciones de BST con el número de partos y el número de ordeños no fueron analizadas.

Con el objeto de conocer el comportamiento de los animales según su nivel de producción de leche estimada a 305 días (PL) sobre la tasa de gestación (GEST), las vacas se agruparon en tres niveles de PL: PL1, menor de 7 000 l ($n = 3\,592$); PL2, entre 7 000 y 8 500 l ($n = 3\,515$); PL3, mayor a 8 500 l ($n = 7\,895$).

Para evaluar el índice temperatura-humedad registrado el día del servicio (THIS) sobre la GEST, el índice subclasificó en cinco grupos: 1) Menor a 72 ($n = 5\,621$); 2) entre 72 y 73.9 ($n = 2\,524$); 3) entre 74 y 75.9 ($n = 3\,737$); 4) entre 76 y 77.9 ($n = 3\,814$); 5) mayor a 78 ($n = 4\,910$).

El número de parto en las vacas se subclasificó en: 1) Vacas de primer parto ($n = 7\,540$); 2) vacas con dos partos ($n = 5\,072$); 3) vacas con tres o más partos ($n = 7\,994$).

The cows were grouped according to the size of the dairy herd (HS) herds with more than 1 000 cows (n = 8 660); herds with less than 1 000 cows (n = 11 946).

Information analysis

The variable analyzed was the pregnancy rate (PR). The general model to which the majority of the variation was attributed was:

$$Y_{mijkl} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + MS_i + CN_j * MS \times CN_{ij} + BST_k + BST \times MS_{ik} + b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}}) + E_{(mijk)l}$$

where: Y_{mijkl} = response variable of the i-th observation, of the k-th administration of bovine somatotropin, j-th calving number and the i-th month of service;

μ = general mean;

B_m = effect of the year of service \times dairy herd;

$\delta_{(m)}$ = restriction error, NID (0, σ^2_e);

MS_i = effect of the i-th month of service (1...12);

CN_j = effect of the j-th number of calving (1, 2, 3);

$MS \times CN_{ij}$ = effect of the interaction between the i-th month of service and the j-th calving number;

BST_k = effect of the k-th bovine somatotropin administration program (0, 1);

$MS \times BST_{ik}$ = effect of the interaction between the i-th month of service with the k-th BST administration program;

$b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}})$ = linear effect of the covariant of the days in milk at the time of service;

$E_{(mijk)l}$ = NID error (0, σ^2_e).

A second analysis was carried out in order to assess the effect of the interaction of the month of service with the different levels of production on the pregnancy rate. The model to which the variation was attributed was:

$$Y_{ijk} = \mu + B_1 + \delta_{(l)} + MS_i + MP_j + MS \times MP_{ij} + b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}}) + E_{(lij)k}$$

where: Y_{ijk} = response variable of the k-th observation, of the j-th milk production level and the i-th month of service;

μ = general mean;

B_1 = effect of the year of service \times dairy herd;

$\delta_{(l)}$ = restriction error, NID (0, σ^2_e);

MS_i = effect of the i-th month of service (1...12);

MP_j = effect of the j-th production level (1, 2, 3);

$MS \times MP_{ij}$ = effect of the interaction of the i-th month of service with the j-th level of production;

$b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}})$ = effect of the covariant variable of the days in milk at the time of service;

$E_{(lij)k}$ = NID error (0, σ^2_e).

In order to assess the effect of the interaction

Las vacas se agruparon en relación al número de ordeños por día: Dos ordeños (n = 4 760); tres ordeños (n = 15 846).

Las vacas fueron clasificadas de acuerdo con el tamaño del hato lechero (NVIE) en que se encontraban: Hatos con más de 1 000 vacas (n = 8 660); hatos con menos de 1 000 vacas (n = 11 946).

Análisis de la información

La variable evaluada fue la tasa de gestación (GEST). El modelo general al que se atribuyó el total de la variación fue:

$$Y_{mijkl} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + MS_i + NP_j * MS \times NP_{ij} + BST_k + BST \times MS_{ik} + b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}}) + E_{(mijk)l}$$

donde: Y_{mijkl} = variable de respuesta de la l-ésima observación, de la k-ésima administración de somatotropina bovina, del j-ésimo número de parto y del i-ésimo mes de servicio;

μ = media general;

B_m = efecto de año de servicio \times hato lechero;

$\delta_{(m)}$ = error de restricción, NID (0, σ^2_e);

MS_i = efecto del i-ésimo mes de servicio (1...12);

NP_j = efecto del j-ésimo número de parto (1, 2, 3);

$MS \times NP_{ij}$ = efecto de la interacción de i-ésimo mes de servicio con el j-ésimo número de parto;

BST_k = efecto del k-ésimo programa de administración de somatotropina bovina (0, 1);

$MS \times BST_{ik}$ = efecto de la interacción del i-ésimo mes de servicio con el k-ésimo programa de administración de BST;

$b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}})$ = efecto de la covariable de los días en leche al momento del servicio en su forma lineal;

$E_{(mijk)l}$ = error NID (0, σ^2_e).

Se realizó un segundo análisis para evaluar el efecto de interacción del mes de servicio con los diferentes niveles de producción sobre la tasa de gestación. El modelo al cual se atribuyó la variación fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_1 + \delta_{(l)} + MS_i + PL_j + MS \times PL_{ij} + b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}}) + E_{(lij)k}$$

donde: Y_{ijk} = variable de respuesta de la k-ésima observación, del j-ésimo nivel de producción láctea y del i-ésimo mes de servicio;

μ = media general;

B_1 = efecto de año de servicio \times hato lechero;

$\delta_{(l)}$ = error de restricción, NID (0, σ^2_e);

MS_i = efecto del i-ésimo mes de servicio (1...12);

PL_j = efecto del j-ésimo nivel de producción (1, 2, 3);

$MS \times PL_{ij}$ = efecto de la interacción de i-ésimo mes de servicio con el j-ésimo nivel de producción;

of THIS with the effects of calving number, of the application or not of bovine somatotropin and the number of milkings on the rate of pregnancy, an analysis was carried out where the model to which variation was attributed was:

$$Y_{mijkln} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + \text{THIS}_i + \text{CN}_j + \text{THIS} \times \text{CN}_{ij} + \text{BST}_k + \text{THIS} \times \text{BST}_{ik} + \text{NOM}_l + b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}}) + E_{(mijkl)n}$$

where: Y_{mijkln} = response variable of the n-th observation of the l-th number of milkings of the k-th bovine somatotropin administration program, of the j-th number of calving and the i-th temperature-humidity index at the day of service;

μ = general mean;

B_m = effect of the year of service \times dairy herd;

$\delta_{(m)}$ = restriction error, NID $(0, \sigma^2_e)$;

THIS_i = effect of the i-th THIS level (1, 2, 3, 4, 5);

CN_j = j-th calving number (1, 2, 3);

$\text{THIS} \times \text{CN}_{ij}$ = effect of the interaction of the i-th level of THIS on the j-th calving number;

BST_k = effect of the k-th BST administration program (0, 1);

$\text{THIS} \times \text{BST}_{ik}$ = effect of the interaction of the i-th level of THIS with the k-th BST administration program;

NOM_l = effect of the l-th number of milking (1, 2);

$b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}})$ = linear effect of the covariant days-in-milk at the time of service;

$E_{(mijkl)n}$ = NID error $(0, \sigma^2_e)$.

In order to assess the effect of the interaction of THIS with the effect of milk production on the pregnancy rates an analysis was carried out where the model to which variation was attributed was:

$$Y_{mijkln} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + \text{THIS}_i + \text{CN}_j + \text{THIS} \times \text{CN}_{ij} + \text{BST}_k + \text{THIS} \times \text{BST}_{ik} + \text{MPL}_l + \text{THIS} \times \text{MPL}_{il} + b_1 (\text{dim} - \mu_{\text{dim}}) + E_{(mijkl)n}$$

where: Y_{mijkln} = response variable of the n-th observation, of the l-th milk production, of the k-th bovine somatotropin administration program, the j-th calving number and the i-th temperature-humidity index on the day of service;

μ = general mean;

B_m = effect of the year of service \times dairy herd;

$\delta_{(m)}$ = restriction error, NID $(0, \sigma^2_e)$;

THIS_i = effect of the i-th THIS level (1, 2, 3, 4, 5);

CN_j = j-th calving number (1, 2, 3).

$\text{THIS} \times \text{CN}_{ij}$ = effect of the interaction of the i-th level of THIS with the j-th calving number;

BST_k = effect of the k-th BST administration program (0, 1);

$\text{THIS} \times \text{BST}_{ik}$ = effect of the interaction of the i-th level of THIS with the k-th BST administration program;

$b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}})$ = efecto de la covariable de los días en leche al momento del servicio en su forma lineal;

$E_{(lij)k}$ = error NID $(0, \sigma^2_e)$.

Para evaluar el efecto de interacción del THIS con los efectos de número de parto, de la aplicación o no de somatotropina bovina y el número de ordeños sobre la tasa de gestación, se realizó un análisis cuyo modelo al que se atribuyó la variación fue:

$$Y_{mijkln} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + \text{THIS}_i + \text{NP}_j + \text{THIS} \times \text{NP}_{ij} + \text{BST}_k + \text{THIS} \times \text{BST}_{ik} + \text{NORD}_l + b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}}) + E_{(mijkl)n}$$

donde: Y_{mijkln} = variable de respuesta de la n-ésima observación, del l-ésimo ordeño, del k-ésimo programa de administración de somatotropina bovina, del j-ésimo número de parto y del i-ésimo índice temperatura-humedad en el día de servicio;

μ = media general;

B_m = efecto de año de servicio \times hato lechero;

$\delta_{(m)}$ = error de restricción, NID $(0, \sigma^2_e)$;

THIS_i = efecto del i-ésimo nivel del THIS (1, 2, 3, 4, 5);

NP_j = j-ésimo número de parto (1, 2, 3);

$\text{THIS} \times \text{NP}_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de THIS con el j-ésimo número de parto;

BST_k = efecto del k-ésimo programa de administración de BST (0, 1);

$\text{THIS} \times \text{BST}_{ik}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de THIS con el k-ésimo programa de administración de BST;

NORD_l = efecto del l-ésimo ordeño (1, 2);

$b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}})$ = efecto de la covariable de los días en leche en su forma lineal;

$E_{(mijkl)n}$ = error NID $(0, \sigma^2_e)$.

Para evaluar el efecto de interacción del THIS con el efecto de producción láctea sobre la tasa de gestación, se realizó un análisis cuyo modelo al que se atribuyó la variación fue:

$$Y_{mijkln} = \mu + B_m + \delta_{(m)} + \text{THIS}_i + \text{NP}_j + \text{THIS} \times \text{NP}_{ij} + \text{BST}_k + \text{THIS} \times \text{BST}_{ik} + \text{PL}_l + \text{THIS} \times \text{PL}_{il} + b_1 (\text{del} - \mu_{\text{del}}) + E_{(mijkl)n}$$

donde: Y_{mijkln} = variable de respuesta de la n-ésima observación, del l-ésimo ordeño, del k-ésimo programa de administración de somatotropina bovina, del j-ésimo número de parto y del i-ésimo índice temperatura-humedad en el día de servicio;

μ = media general;

B_m = efecto de año de servicio hato lechero;

$\delta_{(m)}$ = error de restricción, NID $(0, \sigma^2_e)$;

THIS_i = efecto del i-ésimo nivel del THIS (1, 2, 3, 4, 5);

NP_j = j-ésimo número de parto (1, 2, 3).

MP_{l1} = effect of the l-th milk production (1, 2, 3);
 $THIS \times MP_{il}$ = effect of the interaction of the i-th level of THIS with the l-th milk production;
 b_1 (dim - μ_{dim}) = linear effect of the covariant variable of the days-in-milk at the time of service;
 $E_{(mijkl)n}$ = NID error (0, σ^2_e).

In order to assess PR and MP with the effect of herd size, the following model was utilized:

$$Y_{ij} = \mu + HS_i + b_1 (\text{dim} - \mu_{dim}) + E_{(ij)}$$

where: Y_{ij} = response variable of the j-th observation, of the i-th size of herd;

μ = general mean;

HS_i = effect of the i-th size of herd (1, 2);

b_1 (dim - μ_{dim}) = linear effect of the covariant days-in-milk at the time of service;

$E_{(mijk)l}$ = NID error (0, σ^2_e).

A regression analysis was carried out in order to determine the relationship between the least square means of the monthly pregnancy rate and the average temperature-humidity index of the month of service, the equation was:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

where: y = is the dependant variable on PR;

β_0 = value of y when monthly THI average = 0;

$\beta_1 x$ = change of PR per unit of change in monthly THI average;

ε = random error.

In order to assess the factors that modify the estimated milk production at 305 days, the model to which variation was attributed was:

$$Y_{ijkl} = \mu + CN_i + BST_j + NOM_k + E_{(ijkl)}$$

where: Y_{ijkl} = response variable of the l-th observation, of the k-th number of milkings, of the j-th bovine somatotropin administration program and the i-th calving number;

μ = general mean;

CN_i = i-th calving number (1, 2, 3);

BST_j = effect of the j-th bovine somatotropin administration program (0, 1);

NOM_k = effect of the k-th number of milkings (2, 3);

$E_{(ijkl)}$ = NID error (0, σ^2_e).

In preliminary analysis the double interactions that were not significant were removed from the models. The data was analyzed by the least squares method through the GLM procedure of the SAS software package.²⁴ Multiple comparison of means was done through the multiple range procedure (minimum significant difference).

$THIS \times NP_{ij}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de THIS con el j-ésimo número de parto;

BST_k = efecto del k-ésimo programa de administración de BST (0, 1);

$THIS \times BST_{ik}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de THIS con el k-ésimo programa de administración de BST;

PL_{l1} = efecto del l-ésima producción láctea (1, 2, 3);

$THIS \times PL_{il}$ = efecto de la interacción del i-ésimo nivel de THIS con la l-ésima producción láctea;

b_1 (del - μ_{del}) = efecto de la covariable de los días en leche en su forma lineal;

$E_{(mijkl)n}$ = error NID (0, σ^2_e).

Para evaluar la GEST y la PROD por efecto del tamaño del hato se realizó un análisis de varianza con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + NVIE_i + b_1 (\text{del} - \mu_{del}) + E_{(ij)}$$

donde: Y_{ij} = variable de respuesta de la j-ésima observación, del i-ésimo tamaño del hato;

μ = media general;

$NVIE_i$ = efecto del i-ésimo tamaño del hato (1, 2);

b_1 (del - μ_{del}) = efecto de la covariable de los días en leche al momento del servicio en su forma lineal;

$E_{(mijk)l}$ = error NID (0, σ^2_e).

Se realizó un análisis de regresión para determinar la relación entre las medias mínimo cuadráticas de la tasa de gestación mensual y el índice temperatura-humedad promedio del mes de servicio, la ecuación fue:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

donde: y = variable dependiente de GEST;

β_0 = valor de y cuando x = 0;

$\beta_1 x$ = cambio de GEST por cada unidad de cambio de THIS;

ε = error aleatorio.

Para evaluar los factores que modifican la producción de leche estimada a 305 días, el modelo al cual se atribuyó la variación fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + NP_i + BST_j + NORD_k + E_{(ijkl)}$$

donde: Y_{ijkl} = variable de respuesta de la l-ésima observación, del k-ésimo número de ordeño, del j-ésimo programa de administración de somatotropina bovina y el i-ésimo número de parto;

μ = media general;

NP_i = i-ésimo número de parto (1, 2, 3);

BST_j = efecto del j-ésimo programa de administración de somatotropina bovina (0, 1);

$NORD_k$ = efecto del k-ésimo número de ordeños (2, 3);

$E_{(ijkl)}$ = error NID (0, σ^2_e).

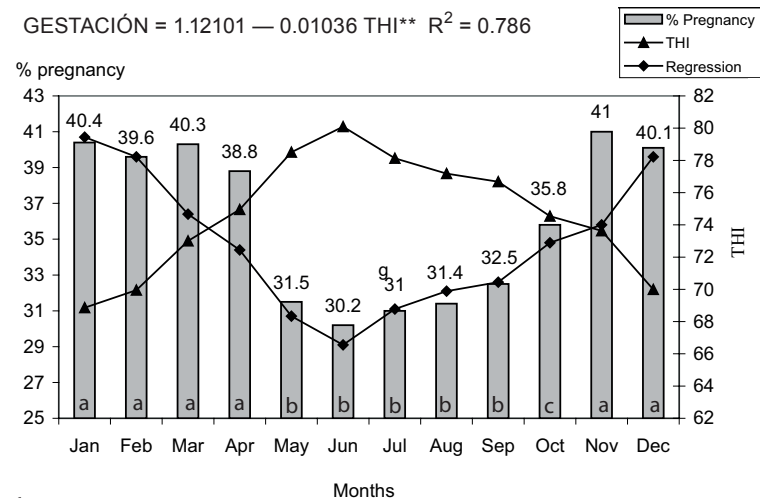


Figura 1. Relación entre las medias mínimo cuadráticas de la tasa de gestación, y la media mensual del índice temperatura-humedad (THI) registradas durante el año, en sistemas intensivos de producción de leche de Aguascalientes.

Figure 1. Relationship between the least square means of the pregnancy rate and the monthly mean of the temperature-humidity index (THI) recorded throughout the year in intensive dairy production systems in Aguascalientes.

^{a,b}Different letters indicate significant difference (P < 0.01)

^{a,c}Different letters indicate difference (P < 0.05)

^{b,c}Different letters indicate difference (P < 0.05)

Results

In Figure 1, the average values of the temperature-humidity index of the month and the least square means of the monthly pregnancy rates, recorded throughout the year are shown. We observed a negative linear relationship between these two variables (P < 0.01) and the equation had a determination coefficient (R²) of 0.782; per each unit of change in the temperature-humidity index, PR is modified by 1.03%. PR was reduced from May to September, and the values were below those observed in October (P < 0.05) and from November to April (P < 0.01).

In Table 1, the effects on PR of the temperature-humidity index at the day of service, the number of calvings, the number of milkings, the administration or not of bovine somatotropin, the level of milk production and the herd size are shown. Cows exposed to a THIS greater than 74 had a lower PR (P < 0.01). The reduction of PR was accentuated when the THIS was greater than 76 (P < 0.01). Primiparous cows had greater PR than those with two or more calvings (P < 0.01). In cows with three milkings per day the PR was less than in those with two milkings per day (P < 0.01). Cows with a MP greater than 8 500 l showed a PR smaller than cows with a smaller MP (P < 0.01). The effects of the administration of BST and the interactions of THIS with CN, BST and NOM on PR were not significant (P > 0.05).

The monthly pregnancy rate, throughout the year, observed in cows with different production levels is depicted in Figure 2. There was a reduction in PR, from May to September, which had an equal effect in the cows of all MP levels; nevertheless, cows with a MP greater than 8 500 l had a smaller PR in January, October (P < 0.05), November and December (P <

En análisis preliminares las interacciones dobles que no fueron significativas fueron removidas de los modelos. Los datos se analizaron por el método de mínimos cuadrados por el procedimiento de GLM de SAS.²⁴ Las comparaciones múltiples de medias fueron analizadas a través del procedimiento de rango múltiple (diferencia mínima significativa).

Resultados

En la Figura 1 se muestran los valores promedio del índice temperatura-humedad del mes y las medias mínimo cuadráticas de la tasa mensual de gestación registrados a lo largo del año. Se observó una relación lineal negativa entre estas dos variables (P < 0.01), cuya ecuación tuvo un coeficiente de determinación (R²) de 0.782; por unidad de cambio del índice temperatura-humedad, la GEST se modifica en 1.03%. La GEST se redujo de mayo a septiembre, cuyos valores fueron inferiores a lo observado en octubre (P < 0.05) y de noviembre a abril (P < 0.01).

En el Cuadro 1 se presentan los efectos del índice temperatura-humedad del día de servicio, del número de parto, del número de ordeños, de la administración o no de somatotropina bovina, del nivel de producción láctea y del tamaño del hato sobre la GEST. Las vacas expuestas a THIS mayor a 74 tuvieron una menor GEST (P < 0.01), se acentuó la depresión de la GEST cuando el THIS fue superior a 76 (P < 0.01). Las vacas primíparas mostraron mayor GEST que las vacas de dos o más partos (P < 0.01). En las vacas con tres ordeños al día, la GEST fue menor que en las de dos ordeños (P < 0.01). Las vacas con PROD mayor a 8 500 l mostraron menor GEST que la observada en vacas con PROD menor (P < 0.01). La GEST en hatos con menos de 1 000 vacas fue mayor que la de los hatos

Cuadro 1

EFFECTO DEL ÍNDICE TEMPERATURA-HUMEDAD EN EL DÍA DEL SERVICIO (THIS),
 NÚMERO DE PARTO, LA ADMINISTRACIÓN O NO DE SOMATOTROPINA BOVINA, EL
 NÚMERO DE ORDEÑOS, EL NIVEL DE PRODUCCIÓN LÁCTEA, Y EL TAMAÑO DEL HATO
 LECHERO SOBRE LA TASA DE GESTACIÓN EN VACAS HOLSTEIN EN PRODUCCIÓN EN
 AGUASCALIENTES

EFFECT OF THE TEMPERATURE-HUMIDITY INDEX AT THE DAY OF SERVICE (THIS),
 CALVING NUMBER, ADMINISTRATION OR NOT OF BOVINE SOMATOTROPIN, NUMBER OF
 MILKINGS, LEVEL OF MILK PRODUCTION AND SIZE OF THE HERD ON THE PREGNANCY
 RATE IN HOLSTEIN COWS IN AGUASCALIENTES

<i>THIS</i>	<i>n</i>	<i>% Pregnancy</i>
Less than 72	5 621	39.4 ^a
72 to 73.9	2 524	38.5 ^{ab}
74 to 75.9	3 737	36.9 ^b
76 to 77.9	3 814	32.5 ^c
Greater than 78	4 910	31.6 ^c
<i>Calving number</i>		
1	7 540	38.2 ^d
2	5 072	36.4 ^e
3 or more	7 994	32.7 ^f
<i>Bovine somatotropin</i>		
No	11 166	35.2 ^a
Yes	9 440	36.4 ^a
<i>Number of milkings</i>		
2	4 760	37.3 ^a
3	15 846	34.3 ^b
<i>Milk production (l)</i>		
Less than 7 000	3 592	34.4 ^a
7 000 to 8 500	3 515	33.4 ^a
Greater than 8 500	7 895	31.7 ^b
<i>Size of the herd</i>		
Less than 1 000 cows	8 660	35.8 ^a
1 000 cows or more	11 946	33.9 ^b

^{a, b, c} Different letters per column within the same main effect ($P < 0.01$).

^{d, e} Different letters per column within the same main effect ($P < 0.05$).

^{d, e vs f} Different letters per column within the same main effect ($P < 0.01$).

0.01) in relation to what was observed in cows with a MP below 7 000 l. In December, the PR of cows with a higher production level was also less than what was observed in cows with a MP between 7 000 and 8 500 l ($P < 0.05$).

The interaction between THIS and MP on the pregnancy rate is shown in Figure 3. The cows with greater MP had a lower PR even at THIS values that did not affect this parameter in the other two groups ($P < 0.01$); the reduction of the PR in those cows was evident at THIS greater than 76 ($P < 0.01$). In cows with productions of 8 500 l or less the reduction in PR was significant when they were serviced at THIS values of 74 or greater ($P < 0.01$). At THIS values of

grandes ($P < 0.01$). Los efectos de administración de BST y de las interacciones del THIS con NP, BST y NORD no fueron significativos sobre GEST ($P > 0.05$).

La tasa mensual de gestación a lo largo del año observada en las vacas con diferente nivel de producción se detalla en la Figura 2. Se mostró reducción de la GEST en mayo a septiembre, que afectó por igual a las vacas de todos los niveles de PROD; sin embargo, las vacas con PROD superior a 8 500 l tuvieron menor GEST en enero, octubre ($P < 0.05$), noviembre y diciembre ($P < 0.01$), con respecto a lo observado en las vacas con PROD menor a 7 000 l. En diciembre, la GEST de las vacas con mayor nivel de

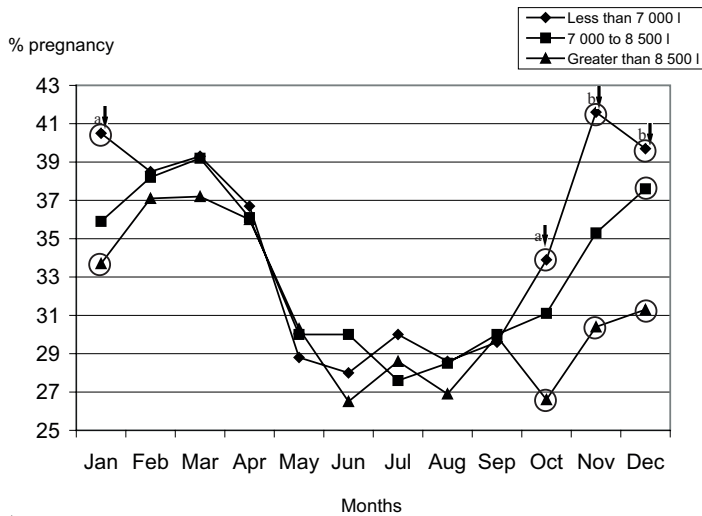


Figura 2. Efecto de interacción del nivel de producción de leche estimada a 305 días y el mes de servicio sobre la tasa de gestación en vacas Holstein de sistemas intensivos de producción de leche de Aguascalientes.

Figure 2. Effect of the interaction of the estimated milk production level at 305 days and the month of service on the pregnancy rate in Holstein cows in intensive dairy production systems in Aguascalientes.

a_{\downarrow} = significant difference between the circled data within the same month ($P < 0.05$). In December, the circled points between the two highest production levels indicate a difference between them ($P < 0.05$).

b_{\downarrow} = significant difference between the circled data within the same month ($P < 0.01$).

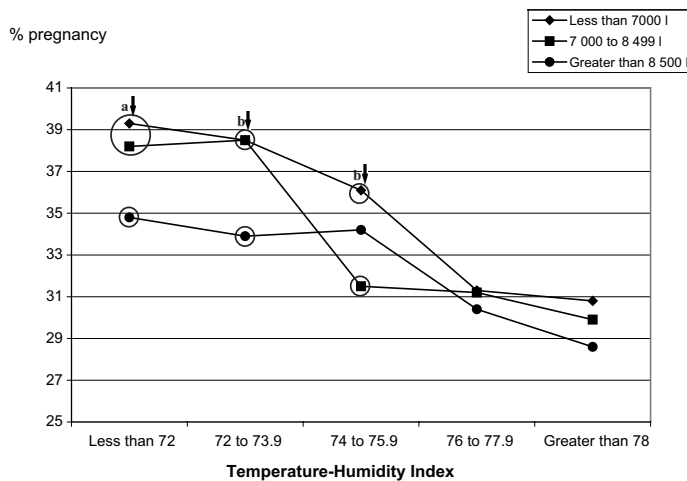


Figura 3. Relación de la tasa de gestación y del índice temperatura-humedad en los diferentes niveles de producción láctea de vacas Holstein en Aguascalientes.

Figure 3. Relationship of the pregnancy rate and the temperature-humidity index at the day of service (THIS) in the different milk production levels of Holstein cows in Aguascalientes.

a_{\downarrow} = difference between the circled values within the same THI range ($P < 0.01$).

b_{\downarrow} = difference between the circled values within the same THI range ($P < 0.1$).

Cuadro 2

MEDIAS MÍNIMO CUADRÁTICAS DE LA PRODUCCIÓN ESTIMADA DE LECHE A 305 DÍAS PARA LOS EFECTOS DEL NÚMERO DE PARTOS, LA ADMINISTRACIÓN O NO DE SOMATOTROPINA BOVINA, EL NÚMERO DE ORDEÑOS Y EL TAMAÑO DEL HATO EN VACAS HOLSTEIN DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCIÓN EN AGUASCALIENTES

LEAST SQUARE MEANS OF THE ESTIMATED 305 DAY MILK PRODUCTION FOR THE EFFECTS OF THE CALVING NUMBER, ADMINISTRATION OR NOT OF BOVINE SOMATOTROPIN, NUMBER OF MILKINGS AND SIZE OF HERD OF HOLSTEIN COWS IN INTENSIVE PRODUCTION SYSTEMS IN AGUASCALIENTES

<i>Calving number</i>	<i>n</i>	<i>x ± e. e.</i>
1	5 547	7 945.4 ± 38.9 ^a
2	3 667	8 374.2 ± 43.5 ^b
3 or more	5 788	8 409.7 ± 34.9 ^b
<i>Bovine somatotropin</i>		
No	8 047	8 051.5 ± 28.9 ^a
Yes	6 955	8 434.7 ± 40.1 ^b
<i>Number of milkings</i>		
Two milkings	2 245	7 927.4 ± 53.3 ^a
Three milkings	12 757	8 558.8 ± 20.7 ^b
<i>Number of cows per farm</i>		
Less than 1 000 cows	5 617	7 772.7 ± 30.2 ^a
1 000 cows or more	9 385	8 834.1 ± 23.4 ^b

^{a, b, c} Different letters per column within the same main effect (P < 0.01).

76 or more, the PR was the same for the different MP groups (P > 0.05).

In Table 2, the least square means of the estimated milk production at 305 days are presented, as well as the effects of the number of calvings, the number of milkings per day, the administration or not of somatotropin and the herd size. The cows with two or more calvings, those that received bovine somatotropin, the ones that had three milkings per day and the ones in herds with 1000 or more cows had a greater MP (P < 0.01).

Discussion

One of the main objectives of this study was to generate specific information for a dynamic and important dairy basin in Mexico, where the magnitude of the

producción también fue inferior a lo observado en las vacas con PROD entre 7 000 y 8 500 l (P < 0.05).

La interacción entre THIS y nivel de PROD sobre la tasa de gestación se muestra en la Figura 3. Las vacas con mayor PROD tuvieron una menor gestación aun a valores de THIS que no afectaron la GEST de los otros dos grupos (P < 0.01), la reducción de la GEST en estas vacas fue evidente a THIS mayores a 76 (P < 0.01). En las vacas con producciones de 8 500 l o menores, la reducción de la GEST fue significativa cuando se sirvieron a THIS con valores de 74 o mayores (P < 0.01). A valores de THIS de 76 o más, la GEST fue igual para los diferentes grupos de PROD (P > 0.05).

En el Cuadro 2 se presentan las medias mínimo cuadráticas de la producción estimada de leche a 305 días y los efectos del número de partos, del número

depression of PR associated with the changes in the temperature-humidity index, which had a 12-point average monthly fluctuation between months, was assessed. The detrimental effect of heat stress on the pregnancy rate shows that climate is an important variable that affects dairy cows in arid and semiarid regions of Mexico. This has been previously pointed out by observations made in intensive milk production systems with Holsteins cows.^{10,11} Nevertheless, these observations have not been published in refereed journals and have been done in a single herd,¹⁰ or they are general means of fertility recorded in several production farms in a region,¹¹ without adjustment of the information for other factors that could have an influence on pregnancy rates.

The reduction by 1.03% in the monthly average of PR per unit of increment in the per-month THI average coincides with the reports by Ravagnolo and Misztal,¹⁴ in relation to trends, although the absolute values observed by them are smaller (0.5% of non-return to estrus at 45 days, per unit of increment in THI). The difference is probably due to the fact that they used the THI referred to the day of service of each cow and the response variable was non-return to estrus, which is less accurate as an estimator of fertility than the pregnancy rate.

The reduction in fertility of cows exposed to a THIS higher than 74 was apparent, and there was no evident effect below that value; when the THIS reached a level above 76 the reduction in PR show a marked difference, even in those cows with productions greater than 8 500, that due to their smaller PR in general, had not experienced changes with THIS smaller than 76. Several studies have demonstrated that, when the comfort conditions for animals are not met and they are exposed to high temperatures and relative humidities two days before service,¹² and at the moment of service,^{13,14} the rate of fertilization and embryo development are affected. It has been described that heat stress affects the final development of the ovulatory follicle as well as the maturity and competence of the ovocyte, which has negative repercussions in the fertilization rate and in the early^{25,26} and late¹³ embryo survival.

On the other hand, not having observed differences in PR due to the different MP levels in the hot months and with THIS greater than 76, the recovery of PR to the values observed before the heat stressing months were reached at a later point in cows with a MP greater than 8500 l. On the other hand, it is important to mention that the levels of PR in high production cows was inferior in all studied THIS ranges, with or without heat stress, which indicates that the physiological stress linked to the production level is a very important factor and that it makes cows more sensitive to heat

de ordeños al día, de la administración o no de somatotropina y del tamaño del hato. Las vacas con dos o más partos, las que recibieron somatotropina bovina, las sujetas a tres ordeños al día y las de hatos con 1 000 o más vacas tuvieron mayor PROD ($P < 0.01$).

Discusión

Uno de los objetivos principales de este estudio fue generar información específica para una dinámica e importante cuenca lechera de México, donde se valoró la magnitud de la depresión de la GEST asociada con cambios en el índice temperatura-humedad, cuya fluctuación promedio mensual fue de 12 puntos entre los meses del año. El efecto detrimental del estrés calórico sobre la tasa de gestación demuestra que el clima es una variable de importancia que afecta a las vacas lecheras de regiones áridas y semiáridas de México, que se ha documentado previamente en otros estudios realizados en sistemas intensivos de producción de leche en vacas Holstein.^{10,11} Sin embargo, esos estudios no se han publicado en revistas arbitradas y se han realizado en un solo hato,¹⁰ o son medias generales de la fertilidad registrada en varias explotaciones de una región,¹¹ sin que la información se haya ajustado a otros factores que pueden influir en la gestación.

La reducción del promedio mensual de 1.03% de la gestación por unidad de incremento del THI promedio del mes, coincide con lo informado por Ravagnolo y Misztal,¹⁴ en cuanto a tendencia, aunque los valores absolutos observados por ellos sean menores (0.5 % de no retorno al estro a 45 días, por unidad de incremento de THI); la diferencia estriba, probablemente, en que en su caso el THI está referido al del día del servicio de cada vaca y su variable de respuesta es de no retorno al estro, que es menos precisa como estimador de la fertilidad que la tasa de gestación.

La reducción de la gestación en las vacas expuestas a un THIS superior a 74 fue evidente, por lo que parece que la GEST se ve poco afectada hasta alrededor de este nivel de estrés calórico; cuando el THIS alcanzó un nivel superior a 76 la reducción de la GEST de las vacas se agudizó, incluso en aquellas con producciones mayores a 8 500, que por su menor GEST en general, no habían experimentado cambios con THIS menores a 76. Varios estudios han demostrado que cuando las condiciones de confortabilidad de los animales para tener una fertilidad adecuada no se cubren y se exponen a temperatura y humedad ambiental elevadas dos días antes del servicio,¹² y al momento del servicio,^{13,14} se afectan la tasa de fertilización y el desarrollo embrionario. Al respecto, se ha descrito

stress. This effect is carried along several months, which impedes a recovery of the PR levels in autumn and early winter, in cows with a higher MP.

The slow recovery of the PR in cows with a higher production level could be related to a delayed effect of the summer heat on the development and quality of the follicles and oocytes, the luteal function, the embryo development and the uterine environment, which are manifested in the fertility of dairy cows during summer and autumn. It has been observed that in lactating²⁷ and non-lactating²⁸ Holstein cows, exposed to heat stress during summer²⁷ or only during a follicle cycle,²⁸ there is an increase in unhealthy follicles,²⁸ a decreased in morphological quality of the cumulus oophorus and a reduction in embryo development up to the blastocyst stage.²⁷ It has even been demonstrated that repeated treatments with gonadotropin releasing factor or frequent aspiration of follicles greater than 5 mm²⁸ and between 3 and 7 mm²⁷ during several estrous cycles at the beginning of autumn dissipates the detrimental effect of the heat stress, carried over from summer, on follicle development by allowing recruitment of new healthy follicles, thus improving the quality of the cumulus oophorus and increasing embryo development to the stage of blastocyst.

The precise mechanism by which heat stress can affect the follicles and oocytes is unknown, but a damage in the intercellular communication between cells of the cumulus oophorus, the rest of the granulosa cells and the oocyte has been described,^{29,30} as well as an alteration in the competence of the oocyte to be fertilized;^{26,30} in the protein content,³¹ as well as in the viability of the granulosa cells and of the theca internal cells, and the steroidogenesis.^{29,32,33} Therefore, some follicles could be affected even before they are recruited which translates into an extension of the effects of the heat stress even into the months with more comfortable conditions.

It has been described that the intensification of the dairy production systems has contributed to a decline in fertility. In the past 25 years, an annual reduction between 0.5% and 1% has been estimated for the fertility at first service, in cows in intensive systems.^{3,17,18} This study coincides with the same trends observed in studies recently carried out in Holstein cows where it was determined that the magnitude of the depression in the non-return to estrus rate (NRER) at 45 and 90 days from first service, in the hot months of the year, was greater in cows with a higher MP.^{14,23} In this study, the magnitude of reduction in PR during the hot months of the year had a range between 29% and 33% when compared with the month with greatest PR. These values were below the reduction of the NRER (around 90%) observed by

que el estrés calórico afecta el desarrollo final del folículo ovulatorio y la maduración y competencia del ovocito, lo que repercute negativamente en la tasa de fertilización y en la sobrevivencia embrionaria temprana^{25,26} y tardía.¹³

No obstante de no haberse observado diferencias en la GEST debida a los distintos niveles de PROD en los meses calurosos y con THIS superiores a 74, la recuperación de la GEST a la observada antes del inicio del estrés calórico se alcanzó en forma más tardía en las vacas con PROD mayor a 8 500 l. Por otra parte, es importante destacar que los niveles de GEST de las vacas altas productoras fue inferior en todos los rangos de THIS estudiados, con o sin estrés calórico, lo que permite inferir que el estrés fisiológico vinculado al nivel de producción es un factor de gran importancia, y que hace más sensibles a las vacas al estrés calórico, cuyo efecto se acarrea por varios meses, lo que impide la recuperación de los niveles de GEST en el otoño y el invierno temprano en vacas con mayor PROD.

La lenta recuperación de la GEST en las vacas con mayor nivel de producción puede estar relacionada con un efecto retrasado del calor del verano sobre el desarrollo y la calidad folicular y del ovocito, la función lútea, el desarrollo del embrión y el ambiente uterino, que juegan un papel importante en la fertilidad de las vacas lecheras durante el verano y el otoño. Se ha observado en vacas Holstein lactantes²⁷ y no lactantes²⁸ expuestas a estrés calórico durante el verano²⁷ o en un ciclo folicular,²⁸ un incremento de folículos no saludables,²⁸ una menor calidad morfológica del cúmulo ovígeno y una reducción en el desarrollo embrionario hasta el estadio de blastocisto.²⁷ Incluso se ha demostrado que tratamientos repetidos con factor liberador de las gonadotropinas o la aspiración frecuente de los folículos mayores de 5 mm²⁸ y entre 3 y 7 mm²⁷ durante varios ciclos estrales al inicio del otoño, disipa el efecto detrimental del estrés calórico acarreado del verano sobre el desarrollo folicular al permitir el reclutamiento de nuevos folículos saludables, con lo que se mejora la calidad del cúmulo ovígeno y se incrementa el desarrollo embrionario hasta el estadio de blastocisto, en un periodo más corto que lo observado en el grupo de vacas no tratadas.

No se sabe el mecanismo exacto por el cual el estrés calórico puede afectar a los folículos y a los ovocitos, pero se ha descrito que se produce un daño en la comunicación intercelular entre las células de la granulosa, del cúmulo y del ovocito,^{29,30} se afecta la competencia del ovocito para ser fertilizado,^{26,30} se altera el contenido proteínico³¹ y la viabilidad de las células de la granulosa y de las de la teca interna, y se producen cambios en la esteroidogénesis.^{29,32,33} Por

Alkatanani *et al.*²³ in high production cows. Ravagnolo and Misztal,¹⁴ described a loss of around 16% of NRER at 45 days from the highest NRER point. The quantitative differences can be due to the fact that the parameters assessed are different, as well as the range of absolute THI values, which was wider in the work by those authors.

The administration of bovine somatotropin (BST) and the increase in milkings are widely used practices in order to increase milk production in intensive systems, in Mexico. Independently of the number of milkings, cows that were maintained under a BST administration regime of every 12 or 14 days, did not show any effect of BST or its interaction with THI on the pregnancy rate, although a higher milk production was observed in these cows. Some studies indicate that cows treated with BST on the day of service and at the tenth day of the cycle experience an increase in pregnancy rate,^{34,35} as well as in the survival of recovered embryos and the pregnancy rate of recipient cows.^{36,37} In these studies the application of BST was programmed in relation to the day of service in experimental animals, while in the present study, the administration of BST was carried out as it is done commercially, in function of the progression of lactation, without taking into consideration the day of service.

The increase in the number of milkings and the herd size has an effect on the reproduction of cows, possibly because in these conditions there is an increase in the degree of difficulty to adequately fulfill routine practices such as heat observation, and other practices of health and reproductive control,³⁸ and may even be related to an increase in milk production in cows with three milkings and in those within large herds, a variable that was related to a smaller PR in the present study.

A reduced fertility in the hot seasons of the year, independently of increasing the risk of elimination of the cows, implies, on one hand, that there is seasonality in calving and milk production, with a higher frequency of calvings during summer and autumn of the next reproductive cycle. The production is then increased when there is a greater offer of milk in the market with milk coming from seasonal and dual purpose systems, which reduces the price of the product and makes its marketing more difficult.

In the dairy basin of Aguascalientes an important increase in milk production has happened, together with an increment of the number of cows per herd as well as improvements in technology; therefore, the impact of heat stress on production and reproduction shall continue to be an unresolved and current problem that is gaining more importance each time.

The majority of the herds in this dairy basin

tanto, algunos folículos pudieran ser afectados aun antes de su reclutamiento, lo que se traduce en la prolongación de los efectos del estrés térmico aun a los meses con condiciones más confortables.

Se ha descrito que la intensificación de los sistemas de producción de leche ha contribuido a la declinación de la fertilidad. En los últimos 25 años se ha estimado una reducción anual entre 0.5% y 1% de la fertilidad del primer servicio en las vacas en sistemas intensivos.^{3,17,18} El estudio que aquí se presenta coincide con las mismas tendencias observadas en estudios realizados recientemente en vacas Holstein, en los que se determinó que la magnitud de la depresión de la tasa de no retorno al estro (TNRE) a 45 y 90 días del primer servicio, en los meses calurosos del año, fue más acentuado en las vacas con mayor PROD.^{14,23} En el presente estudio, la magnitud de la reducción de la GEST en los meses calurosos del año tuvo un rango entre 29% y 33%, comparados con el mes con mayor GEST; siendo estos valores inferiores en cuanto a depresión de la TNRE (alrededor del 90%) observado por Alkatanani *et al.*²³ en vacas altas productoras. Por su parte, Ravagnolo y Misztal,¹⁴ describen una pérdida de alrededor de 16% de TNRE a 45 d a partir del punto más alto de la TNRE. Las diferencias cuantitativas pueden deberse a que los parámetros evaluados son distintos, al igual que el rango de valores absolutos de THI, que fue más amplio en el trabajo de esos autores.

La administración de somatotropina bovina (BST) y el incremento de ordeños son prácticas ampliamente usadas para incrementar la producción de leche en los sistemas intensivos de México. Independientemente del número de ordeños, las vacas que se mantuvieron bajo un régimen de administración de BST cada 12 o 14 d no mostraron efecto alguno de la BST ni de su interacción con el THI sobre la tasa de gestación, a pesar de haberse observado una mayor producción láctea en estas vacas. Algunos estudios indican que vacas tratadas con BST el día del servicio y en el décimo día del ciclo, experimentan incrementos de la tasa de preñez,^{34,35} de la sobrevivencia de los embriones recuperados y de la tasa de preñez de vacas receptoras.^{36,37} En esos estudios la aplicación de BST fue programada en relación con el día del servicio en animales experimentales, en tanto que en el presente trabajo, la administración de BST se realizó como se usa comercialmente, en función del progreso de la lactancia, sin tomar en consideración el día del servicio.

El incremento del número de ordeños y el tamaño del hato tiene un efecto sobre la reproducción de las vacas, probablemente porque en estas condiciones aumenta el grado de dificultad para cumplir adecuadamente con prácticas rutinarias como la

are characterized by not having systems for heat mitigation, except shades in pens, troughs and waiting areas; therefore, it is recommended that additional cooling systems be included such as fans, sprinklers and foggers which have demonstrated beneficial effects on production and reproduction. Another alternative that is convenient to explore, in order to improve fertility of cows during autumn, is the induction of an accelerated follicle re-change by artificial means, allowing recruitment of healthier follicles.

Acknowledgements

This study was financed by Conacyt in Mexico (31457-B) and the Fundacion Produce Aguascalientes, A. C. We give special thanks to the dairy producers of the GILSA group for their support; without it this study would not have been possible.

Referencias

1. Call EP. Economics associated with calving intervals. Large dairy herd management. Gainesville: Ed Univ Press Florida 1978.
2. Funk DA, Freeman AE, Berge PJ. Effects of previous days open, previous days dry, and present days open on lactation yield. *J Dairy Sci* 1987; 70:2366-2379.
3. Royal M, Mann GE, Flint AP. Strategies for reversing the trend towards subfertility in dairy cattle. *Vet J* 2000; 160:53-60.
4. Scott H L, Meint J de Vries, Ynte HS. The effects of time of disease occurrence, milk yield, and body condition on fertility of dairy cows. *J Dairy Sci* 1999; 82:2589-2604.
5. Grohn YT, Rajaal-Schultz PJ. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2000; 60:605-614.
6. Barash H, Silanikove N, Shamay A, Ezrat E. Interrelationships among ambient temperature, day length, and milk yield in dairy cows under a Mediterranean climate. *J Dairy Sci* 2001; 84:2314-2320.
7. West JW, Mullinix BG, Bernard JK. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2003; 86:232-242.
8. Hansen PJ, Drost M, Rivera RM, Paula-Lopes FF, Al-Katanani YM, Krininger III CE, *et al.* Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology* 2000; 55:91-103.
9. Wolfenson D, Roth Z, Meidan R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim Reprod Sci* 2000; 60:535-547.
10. Avendaño RL, Molina RL, Correa CA. Factores ambientales que influyen sobre la eficiencia reproductiva en un hato Holstein de Baja California.

observación de calores y otras de control sanitario y reproductivo³⁸ y quizá debido también a un incremento de la producción láctea en las vacas con tres ordeños y en las de los hatos grandes, cuya variable se relacionó con una menor GEST en el presente estudio

Una menor fertilidad en las épocas cálidas del año, independientemente de un alto riesgo de eliminación de las vacas, implica, por una parte, que haya estacionalidad en la parición y en la producción de leche con mayor frecuencia de partos en verano y otoño del siguiente ciclo productivo. Se incrementa la producción cuando existe en el mercado una mayor oferta de leche al agregarse la proveniente de sistemas estacionales y de doble propósito, lo que reduce el precio del producto y dificulta su comercialización.

En la cuenca lechera de Aguascalientes se ha dado un incremento importante en la producción láctea, cada vez con un mayor número de vacas por hato y grado de tecnificación; por lo que el impacto del estrés calórico en la producción y la reproducción animal seguirá siendo un problema no resuelto y vigente, que adquiere cada vez más importancia.

La gran mayoría de los hatos de esta cuenca lechera se caracteriza por no tener sistemas para mitigar el calor, excepto sombras en los corrales, comederos y áreas de espera, por lo que es recomendable incluir sistemas adicionales de enfriamiento como ventiladores, aspersores y nebulizadores, que han demostrado efectos benéficos en la producción y la reproducción. Otra alternativa que resulta conveniente explorar para mejorar la fertilidad de las vacas durante el verano y el otoño, es la inducción por medios artificiales del recambio folicular acelerado, que permite el reclutamiento de folículos más saludables.

Agradecimientos

El estudio fue financiado por el Conacyt de México (31457-B) y la Fundación Produce Aguascalientes, A. C. Se agradece en forma especial a los productores de leche del grupo GILSA, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible realizarlo.

Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1990 octubre 15-19; Villahermosa (Tabasco) México. México (DF): Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, SARH, 1990:447.

11. Fernández DLJ. Evaluación de parámetros reproductivos en hatos de la comarca lagunera. Unión Ganadera. Memorias del Congreso Internacional de Ganado Lechero. 1997 marzo 21-23; Querétaro (Querétaro) México. Querétaro (Querétaro): Asociación de Productores de Leche, 1997:12-14.
12. Ingraham RH, Stanley RW, Wagner WC. Relationship of temperature and humidity to pregnancy rate

- of Holstein cows in Hawaii. *J Dairy Sci* 1975; 59:2086-2090.
13. Cartmill JA, El-Zarkouny SZ, Hensley BA, Rozell TG, Smith JF, Stevenson JS. An alternative AI breeding protocol for dairy cows exposed to elevated ambient temperatures before or after calving or both. *J Dairy Sci* 2001; 84:799-806.
 14. Ravagnolo O, Misztal I. Effect of heat stress on non-return rate in Holsteins: fixed-model analysis. *J Dairy Sci* 2002; 85:3101-3106.
 15. Ealy AD, Drost M, Hansen PJ. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J Dairy Sci* 1993; 76:2899-2907.
 16. Ryan DP, Prichard JF, Kopel E, Godke RA. Comparing early embryo mortality in dairy cows during hot and cool seasons of the year. *Theriogenology* 1993; 39:719-737.
 17. Butler WR. Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1998; 81:2533-2539.
 18. Roche JF, Mackey FD, Diskin MD. Reproductive management of postpartum cows. *Anim Reprod Sci* 2000; 60:703-712.
 19. Washburn SP, Silva WJ, Brown CH, McDaniel BT, McAllister AJ. Trends in reproductive performance in Southeastern Holstein and Jersey DHI herds. *J Dairy Sci* 2002; 85:244-251.
 20. Osen S, Misztal I, Tsuruta S, Rekaya R. Seasonality of days open in US Holsteins. *J Dairy Sci* 2003; 86:3718-3725.
 21. Opsomer G, Grohn YT, Hertl J, Coryn M, Deluyker H, de Kruif A. Risk factors for postpartum ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology* 2000; 53:841-857.
 22. Faust MA, Mc Daniel BT, Robinson OW, Britt JH. Environmental and yield effects on reproduction in primiparous Holstein. *J Dairy Sci* 1988; 71:3092-3099.
 23. Al-Katanani YM, Webb DW, Hansen PJ. Factors affecting seasonal variation in 90-day non-return rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *J Dairy Sci* 1999; 82:2611-2616.
 24. SAS SAS/STAT User's Guide (Release 603) Cary NC, USA: SAS Inst Inc, 1988.
 25. Putney DJ, Mullins S, Thatcher WW, Drost M, Gross TS. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim Reprod Sci* 1989; 19:37-46.
 26. Sartori S, Sartor-Bergfelt R, Mertens SA, Guenther JN, Parrish JJ, Wiltbank MC. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter. *J Dairy Sci* 2002; 85:2803-2812.
 27. Roth Z, Arav A, Zeron Y, Braw-Tal R, Wolfenson D. Improvement of quality of oocytes collected in the autumn by enhanced removal of impaired follicles from previously heat-stressed cows. *Reproduction* 2001a; 122:737-744.
 28. Guzeloglu A, Ambrose JD, Kassa T, Diaz T, Thatcher MJ, Thatcher WW. Long-term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress. *Anim Reprod Sci* 2001; 66:15-34.
 29. Roth Z, Meidan R, Shaham-Albalancy A, Braw-Tal R, Wolfenson D. Delayed effect of heat stress on steroid production in medium sized and preovulatory bovine follicles. *Reproduction* 2001b; 121:745-751.
 30. Al-Katanani YM, Paula-Lopes FF, Hansen PJ. Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *J Dairy Sci* 2002; 85:390-396.
 31. Ambrose JD, Guseloglu A, Thatcher MJ, Kassa T, Diaz T, Thatcher WW. Long-term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to heat-stress. *J Reprod Fertil* 1999; (Suppl 54):503-504.
 32. Wolfenson D, Luft O, Berman A, Meidan R. Effect of season, incubation temperature and cell age on progesterone and prostaglandin f2 alpha production in bovine luteal cells. *Anim Reprod Sci* 1993; 32:27-40.
 33. Wolfenson D, Lew BJ, Thatcher WW, Graber Y, Meidan R. Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. *Anim Reprod Sci* 1997; 47:9-19.
 34. Mendoza MG. Efecto de una dosis de 500 mg de somatotropina bovina recombinante (rbST) en la fertilidad de vacas Holstein al primer servicio y repetidoras (tesis de maestría) México (DF) México: UNAM, 2000.
 35. Morales-Rouda JS, Zarco L, Hernandez-Ceron J, Rodriguez G. Effect of short-term treatment with bovine somatotropin at estrus on pregnancy rate and luteal function of repeat-breeding dairy cows. *Theriogenology* 2001; 55:1831-1841.
 36. Moreira F, Risco CA, Pires MF, Ambrose JD, Drost M, Thatcher WW. Use of bovine somatotropin in lactating dairy cows receiving timed artificial insemination. *J Dairy Sci* 2000; 83:1237-1247.
 37. Moreira F, Badinga L, Burnley C, Thatcher WW. Bovine somatotropin increases embryonic development in superovulated cows and improves post-transfer pregnancy rates when given to lactating recipient cows. *Theriogenology* 2002; 57:1371-1387.
 38. Lucy MC. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *J Dairy Sci* 2001; 84:1277-1293.