



Efecto del reemplazo folicular (GnRH) y de somatotropina bovina (bST) sobre la fertilidad de vacas lecheras expuestas a estrés calórico



Renato Raúl Lozano-Domínguez ^a

Carlos Fernando Aréchiga-Flores ^{a*}

Marco Antonio López-Carlos ^a

Zimri Cortés-Vidauri ^a

Melba Rincón-Delgado ^a

José Ma. Carrera-Chávez ^b

Ulises Macías-Cruz ^c

Joel Hernández-Cerón ^d

^a Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. El Cordovel, General Enrique Estrada, Zacatecas, México.

^b Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ciencias Biomédicas. Departamento de Ciencias Veterinarias. Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico.

^c Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, Mexico.

^d Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Departamento de Reproducción. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

*autor de correspondencia: arechiga.uaz@gmail.com arechiga@uaz.edu.mx

Resumen:

Tres protocolos reproductivos fueron evaluados: 1) PG: inyección de PGF2 α en el día 50 posparto e inseminación (IA) en base a detección del estro. 2) OVS (Ovsynch: día 0, GnRH; día 7, PGF2 α ; día 9, GnRH; día 10, IA); y 3) ROV (GnRH + Ovsynch: día- 7, GnRH; día 0, GnRH; día 7, PGF2 α ; día 9, GnRH; día 10, IA). Además, el efecto de la somatotropina (bST) a la IA, sobre la fertilidad al primer servicio posparto (FERT), y la tasa de preñez a 99 días posparto (PP). FERT fue similar en ROV y OVS (36.2 vs 36.6 %) ($P>0.05$); y mayor a PG (27.3 %) ($P<0.05$). Igualmente, FERT fue similar con bST y sin bST (36.2 vs 30.6 %, $P>0.05$). PG y sin bST (22.5 %) fue menor que OVS con (38.5 %), y sin bST (33.7 %); y que ROV con bST (37.0 %) y sin bST (36.1 %); y PG con bST (32.9 %) ($P<0.05$). La tasa de preñez a 99 días PP fue: OVS (60.6 %); ROV (54.3 %), superior al grupo PG (46.8 %) ($P<0.05$). OVS con bST (64.7 %), y sin bST (56.5 %), y ROV sin bST fueron mayores que PG sin bST (41.1 %, $P<0.05$). En conclusión, GnRH previo al Ovsynch (ROV) y la bST al momento de la IA no incrementaron la fertilidad del primer servicio en vacas Holstein en estrés calórico. OVS y ROV incrementaron la fertilidad del primer servicio posparto y la tasa de preñez a 99 días posparto. La somatotropina incrementó la fertilidad del primer servicio posparto solo en vacas tratadas con PG.

Palabras clave: Vaca lechera, Ovsynch, Somatotropina, Estrés calórico, GnRH.

Recibido: 28/03/2018

Aceptado: 18/09/2019

Introducción

El estrés calórico (EC) compromete las tasas de no retorno al estro^(1,2) y las tasas de concepción de las vacas lecheras⁽¹⁻⁶⁾. Los protocolos de sincronización de la ovulación (Ovsynch), han permitido incrementar la tasa de ovulación^(7,8); el diámetro del folículo ovulatorio⁽⁸⁾; la fertilidad al primer servicio⁽⁸⁻¹³⁾ y la tasa de preñez acumulada a 120 días post-parto en vacas lecheras de alta producción^(9-11,14). La inyección de un luteolítico (i.e., prostaglandina F2 α ó PG), previo al Ovsynch^(7,12), aumenta en más del 40 % la tasa de ovulación de un folículo apto para ser fertilizado⁽⁷⁾, e incrementa el porcentaje de vacas con niveles mayores de progesterona circulante 3 días después de iniciar el Ovsynch⁽¹²⁾. La inserción intravaginal de un dispositivo liberador de progesterona (CIDR), incrementó la tasa de concepción, en comparación a las vacas que solamente reciben el Ovsynch⁽¹²⁻¹³⁾. Sin embargo, bajo condiciones ambientales de EC, los programas reproductivos pueden ver

disminuida su eficiencia en comparación a su implementación bajo confort térmico^(8,12,14-15). El tratamiento doble Ovsynch ha incrementado la fertilidad en 10 %⁽¹⁶⁾. Varios estudios han determinado que aun cuando la fertilidad de los ovocitos fertilizados *in vitro* en las épocas de invierno y verano son similares⁽¹⁷⁾; el porcentaje de embriones que alcanzaron la etapa de blastocito se compromete al utilizar ovocitos recolectados durante el verano^(17,18), especialmente en las vacas repetidoras⁽¹⁷⁾. Las vacas Holstein en plena lactancia⁽¹⁹⁾ y no lactantes⁽²⁰⁾ expuestas a estrés calórico durante el verano⁽¹⁹⁾, o solamente durante un ciclo folicular⁽²⁰⁾, presentan una disminución en el número de folículos sanos⁽²⁰⁾, en la calidad del cúmulo ovígeno⁽¹⁹⁾ y en el desarrollo embrionario⁽¹⁹⁻²⁰⁾. El recambio folicular es importante para eliminar a los folículos desarrollados y afectados por EC y se promueve con tratamientos repetidos de GnRH ó mediante la aspiración frecuente de los folículos de 3 a 7 mm⁽¹⁹⁾ o mayores de 5 mm⁽²⁰⁾ y generar el desarrollo de folículos de mejor calidad y mayor porcentaje de embriones desarrollados a blastocito *in vitro*. El recambio folicular previo al Ovsynch^(21,22), no mejoró la fertilidad del primer servicio^(21,22), pero mejoró la fertilidad en vacas con problemas uterinos y con baja condición corporal⁽²¹⁾.

Por otro lado, la somatotropina bovina (bST) ha sido utilizada en vacas Holsteín por su efecto benéfico al incrementar la producción de leche⁽²³⁻²⁶⁾. Se consideraba que este incremento en la producción de leche podría tener efecto detrimental en la reproducción de la vaca lechera. Tratamientos de 500 mg de bST a partir de los 61 a 63 días en leche y con aplicaciones repetidas de esta hormona cada 10 días⁽²⁵⁾ o 14 días^(24,26), no compromete la fertilidad; la tasa de preñez⁽²⁴⁻²⁶⁾, ni la eliminación de las vacas del hato; los días abiertos; el número de casos de mastitis, ni la incidencia de quistes foliculares y abortos⁽²⁶⁾, ni el bienestar o la salud del animal⁽²⁷⁾. Varios autores han establecido que el uso de bST al inicio del celo⁽²⁸⁾ y 10 días después de la IA en vacas lecheras⁽²⁹⁾ tiene un efecto positivo sobre la tasa de preñez, mejora el desarrollo del cuerpo lúteo e incrementa la producción de progesterona⁽²⁸⁻²⁹⁾ tanto en vacas repetidoras⁽³⁰⁻³¹⁾, como en las vacas receptoras de embriones⁽³²⁾. Este efecto favorable de bST también ha causado un mayor porcentaje de embriones transferibles y menos ovocitos no fertilizados en vacas superovuladas^(29,32,33), y parece estar asociado con el factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF-I), y con la maduración final del ovocito, el desarrollo folicular, y la esteroidogénesis^(30,34,35). De manera conjunta, Ovsynch y bST iniciando el d 63 PP incrementaron la fertilidad a la primera inseminación^(28,36) y el porcentaje de preñez acumulado a 120 y 365 días postparto⁽³²⁾, pero disminuyó la detección de estros en vacas tratadas con bST⁽³⁷⁾, y no se incrementó la fertilidad de las vacas bajo condiciones de estrés calórico⁽²⁴⁾.

El propósito del presente trabajo fue evaluar el efecto del reemplazo folicular (GnRH día-7) y la administración de somatotropina bovina (bST), al momento de la inseminación, sobre la fertilidad del primer servicio posparto y la tasa de preñez en vacas lecheras de alta producción expuestas a estrés calórico.

Material y métodos

El estudio se realizó en vacas lecheras Holstein (n= 553) de dos hatos comerciales de producción intensiva del altiplano central de México (Aguascalientes, México), durante la época cálida, que contaban solo con sombras en los corrales de las vacas en producción y secas. Después del parto, las vacas se lotificaron por número de lactancia con una alimentación integral de acuerdo al nivel de producción láctea. La producción láctea estimada a 305 días del hato en vacas primíparas y multíparas fue de $8,493 \pm 349.6$ y $9,116.3 \pm 307.02$ kg, respectivamente.

Variables climáticas

Durante el período de estudio de marzo a septiembre se registró la información climática cada 15 min de la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa (HR) de la estación meteorológica del INIFAP, Aguascalientes, la cual está ubicada a 5 km de los hatos lecheros donde se realizó el estudio. Se calculó el índice de temperatura-humedad (THI) (Cuadro 1) de acuerdo a lo establecido por Ingraham *et al*⁽³⁷⁾, donde se tomó el registro de la temperatura máxima y el promedio de la humedad relativa, mediante la siguiente ecuación: $\text{THI} = ^{\circ}\text{F} - (0.55 - (((\text{HR} / 100) \times 0.55))) * (^{\circ}\text{F} - 58)$.

Cuadro 1: Índice de temperatura humedad (THI) durante el estudio

Mes	THI
Marzo	73.4 ± 0.39^a
Abril	73.6 ± 0.39^a
Mayo	76.6 ± 0.39^b
Junio	77.5 ± 0.39^b
Julio	77.1 ± 0.39^b
Agosto	77.6 ± 0.41^b
Septiembre	76.5 ± 0.42^b

^{abc} Literales distintas indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

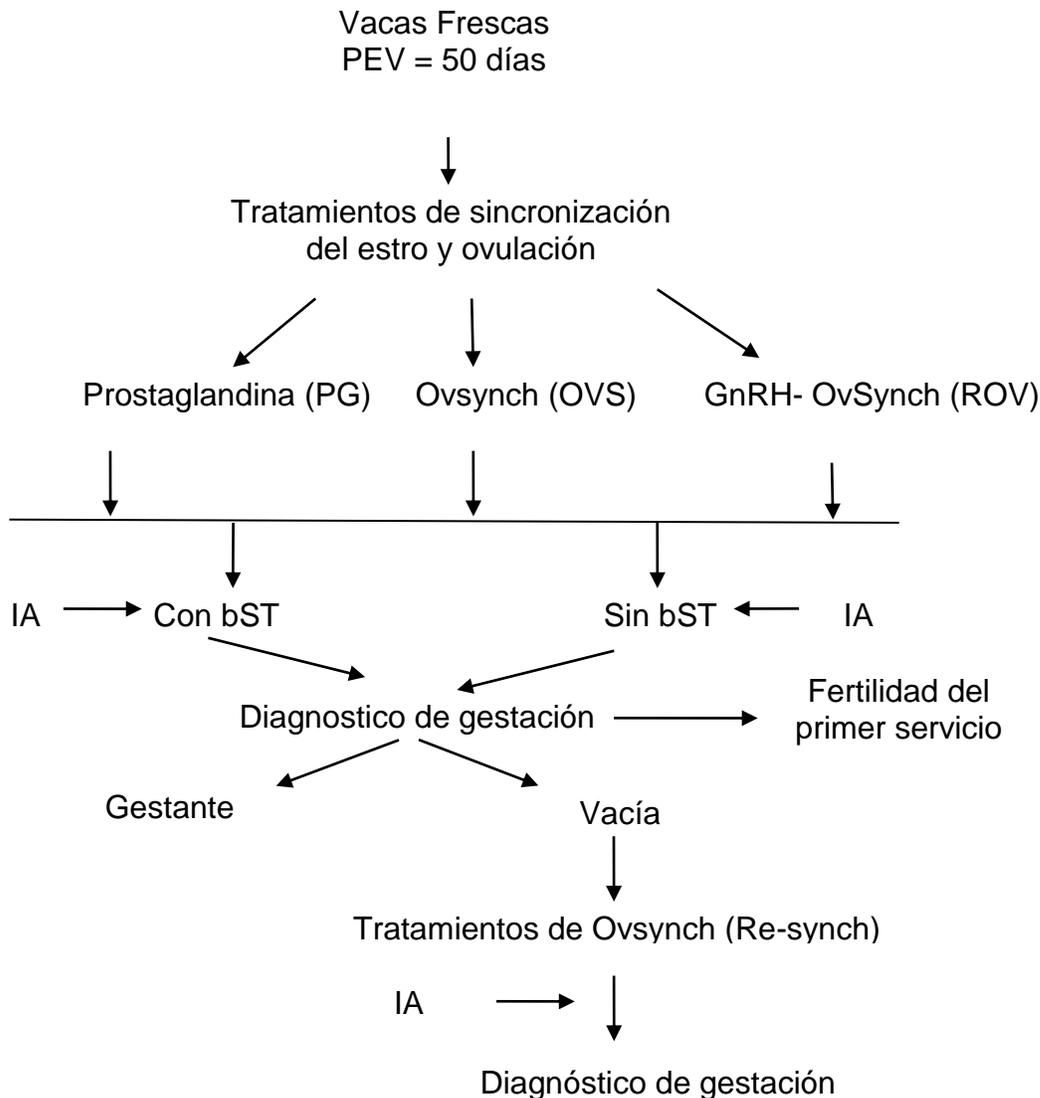
Manejo reproductivo

En el estudio se incluyeron vacas lecheras que presentaron su parto en los meses de marzo y abril. El manejo reproductivo durante el posparto temprano y la implementación de programas de sincronización del estro se realizaron en los meses cálidos del año, de mayo a junio. La evaluación de la involución uterina y de los aspectos clínicos del aparato reproductor se realizó alrededor de los días 20 y 40 posparto (PP), así como la administración de 500 μg de prostaglandina sintética (Cloprostenol sódico, Virbac),

aproximadamente al día 50 PP. El período de espera voluntaria y el intervalo entre partos establecidos como metas fueron de 50 días y 13.8 meses, respectivamente.

Se incluyeron vacas en plena lactancia (n= 553), clínicamente sanas y sin problemas anatómo-patológicos del aparato reproductor, que presentaron su parto en los meses de marzo y abril, y se registró el número de lactancia de cada una de ellas. En la Figura 1 se muestra el diseño experimental. Se inició el estudio considerando un periodo de espera voluntaria (PEV; 50 días en leche aproximadamente). Se registraron los días en leche (DEL); y se emplearon vacas con una condición física corporal aceptable (CFC) con una aproximación de 0.25 puntos de acuerdo a lo descrito por Ferguson *et al*⁽³⁸⁾.

Figura 1: Diseño experimental



Las vacas se asignaron al azar a los siguientes tratamientos (T):

- 1) Prostaglandina (PG) (n= 247 vacas). Inducción de la sincronización del estro con prostaglandina (500 µg de cloprostenol sódico, Virbac); y se les dio servicio de inseminación artificial 12 h después de la detección del estro por observación visual.
- 2) OVS (n= 161 vacas). Ovsynch: día 0, GnRH; día 7, PG; día 9, GnRH; día 10, IATF). Programa de sincronización del estro e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), en el cual a las vacas en el día cero (inicio del tratamiento) se les administró 100 µg del factor liberador de las gonadotropinas (GnRH) (acetato de gonadorelina, SYVA); posteriormente en el día siete y nueve a las vacas se les administró 500 µg de PG y 100 µg de GnRH, respectivamente. La inseminación artificial se realizó entre 12 y 16 h después de la última administración de GnRH.
- 3) ROV (n= 145 vacas). GnRH + Ovsynch: siete días previos al tratamiento de ovsynch (OVS) se les administró 100 µg de GnRH (i.e., día-7). La inseminación artificial se realizó entre 12 y 16 h después de la última administración de GnRH.

Para la evaluación de la fertilidad del primer servicio posparto con días en leche similares de este servicio solo se consideraron las vacas que presentaron celo y fueron inseminadas en los tratamientos con PG, y todas aquellas con servicio a tiempo fijo (OVS y ROV). Las vacas de cada tratamiento y que mostraron estro fueron asignadas al azar a dos grupos: a) somatotropina bovina (C-bST) (n= 221); las vacas recibieron al momento de la inseminación 500 mg de somatotropina bovina (bST) (Lactotropina, Elanco). b) sin somatotropina bovina (S-bST) (n= 235). Las vacas que no recibieron tratamiento de bST al momento de la inseminación.

Con la interacción de los efectos principales de tratamiento y la administración de bST al momento del primer servicio se formaron seis grupos experimentales a evaluar:

1. Sincronización del estro con PG sin bST (PG / S-bST) (n = 80).
2. Sincronización del estro con PG más bST al servicio (PG / C-bST) (n = 70).
3. Ovsynch sin bST (OVS / S-bST) (n=83).
4. Ovsynch más bST al servicio (OVS / C-bST) (n=78).
5. GnRH - Ovsynch sin bST (ROV / S-bST) (n = 72)
6. GnRH - Ovsynch más bST al servicio (ROV / C-bST) (n = 73).

La fertilidad del primer servicio posparto (FERT) fue la relación entre las vacas gestantes y las vacas servidas. Se registró la fecha del primer servicio y de la concepción. Se calcularon los intervalos parto a primer servicio (IPPS) y parto a concepción (IPC). Independientemente del tratamiento recibido, todas las vacas que no se gestaron en el primer servicio fueron nuevamente servidas al observarse un nuevo celo natural; o cuando aquellas (alrededor del 30 %) que al diagnóstico de gestación estaban vacías, fueron

resincronizadas con un protocolo de Re-synch para darles servicio de inseminación artificial de nueva cuenta.

Se realizó una distribución de frecuencias del intervalo parto a concepción de las vacas que tuvieron respuesta a la sincronización con prostaglandinas y que fueron inseminadas, y de aquellas con inseminación a tiempo fijo, para determinar el número de clases y su amplitud para este intervalo⁽³⁹⁾. De esta forma se estimó el porcentaje acumulado de vacas gestantes (GES) por cada clase definida: 1. menos de 100 días en leche. 2. 101 a 150 días en leche. 3. 151 a 201 días en leche. 4. 202 a 253 días en leche. 5. Más de 253 días en leche.

Así mismo, se determinó el porcentaje de vacas gestantes del primero, segundo, tercero o cuarto ó más servicio por tratamiento, administración de bST y su interacción. Se calculó el intervalo parto a concepción y el número de servicios por concepción de todas las vacas del estudio, incluidas aquellas que no respondieron a la sincronización del celo con tratamiento de prostaglandina sin administración de somatotropina bovina al momento del servicio.

Variables a evaluar

Las variables evaluadas fueron el número de lactancia; días en leche (DEL) y condición corporal (CFC) al inicio del estudio; intervalo parto a primer servicio posparto (IPPS); fertilidad del primer servicio posparto (FERT); porcentaje acumulado de vacas gestantes en diferentes períodos posparto (GES); distribución del intervalo parto concepción de las vacas con respuesta a la sincronización hasta los 150 días en leche; así como, el número de servicios (NSC) e intervalo parto a concepción (IPC), incluyendo en estos dos últimos parámetros las vacas sin respuesta a la sincronización con prostaglandina y que no fueron tratadas con bST al momento de la inseminación.

Análisis estadístico

Se analizaron las variables: número de lactancias (NL), días en leche (DEL), condición física corporal (CFC), intervalo parto a primer servicio (IPPS), intervalo parto a concepción (IPC) y número de servicios por concepción (NSC) en un análisis de varianza con bloques al azar. El porcentaje acumulado de vacas gestantes en diferentes períodos posparto y por número de servicio fueron analizados por medio de Ji-cuadrada. El valor esperado del porcentaje de fertilidad del primer servicio posparto se analizó con un modelo de regresión logística múltiple de primer orden. El modelo fue ajustado por el método de máxima verosimilitud considerando los efectos: Tratamiento (T); la administración de bST (S); la interacción entre tratamiento y somatotropina bovina (T x S); y el hato lechero fue tomado como bloque⁽³⁹⁾.

Resultados

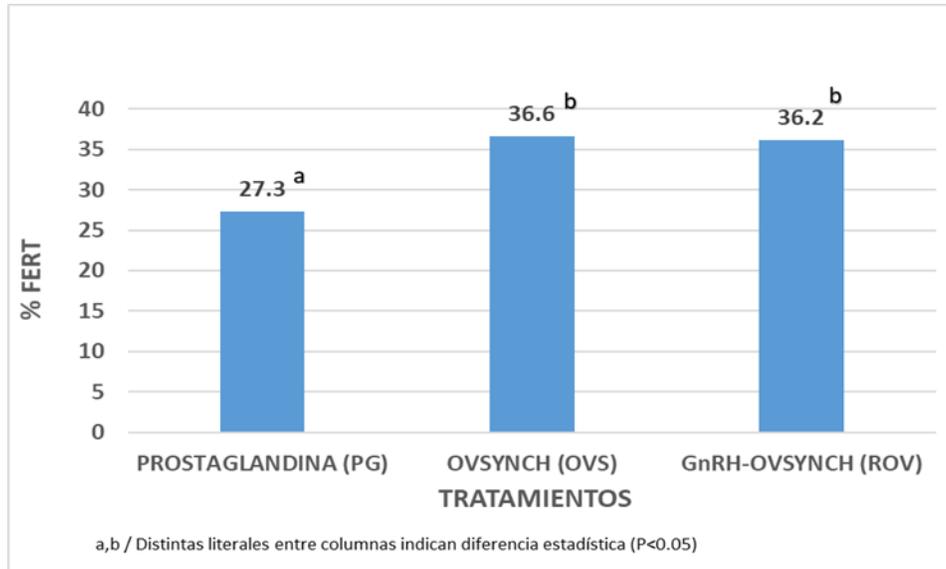
Los días en leche al inicio del tratamiento (DEL= 56.6 ± 0.3); la condición física corporal (CFC= 3.1 ± 0.4); el número de lactancias (NL= 2.7 ± 0.1) y el intervalo parto a primer servicio (IPPS= 59.7 ± 0.3) fueron similares entre grupos de tratamientos ($P>0.05$) (Cuadro 2). La fertilidad al primer servicio posparto de los tratamientos Ovsynch (OVS, 36.6) y GnRH-Ovsynch (ROV, 36.2) fue superior al observado en el tratamiento con Prostaglandina (27.3 %) ($P<0.05$) (Figura 2).

Cuadro 2: Condición física corporal, días en leche al inicio del estudio, número de lactancias e intervalo parto a primer servicio posparto por tratamiento

Variables	Tratamientos		
	PG	OVS	ROV
Número de observaciones	150	161	145
Condición física corporal inicial	3.1 ± 0.03	3.0 ± 0.03	3.1 ± 0.03
Días en leche a la sincronización	55.3 ± 0.3	57.6 ± 0.3	56.8 ± 0.3
Número de lactancias	2.6 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.6 ± 0.1
Intervalo parto a primer servicio	58.8 ± 0.3	60.5 ± 0.3	59.9 ± 0.3

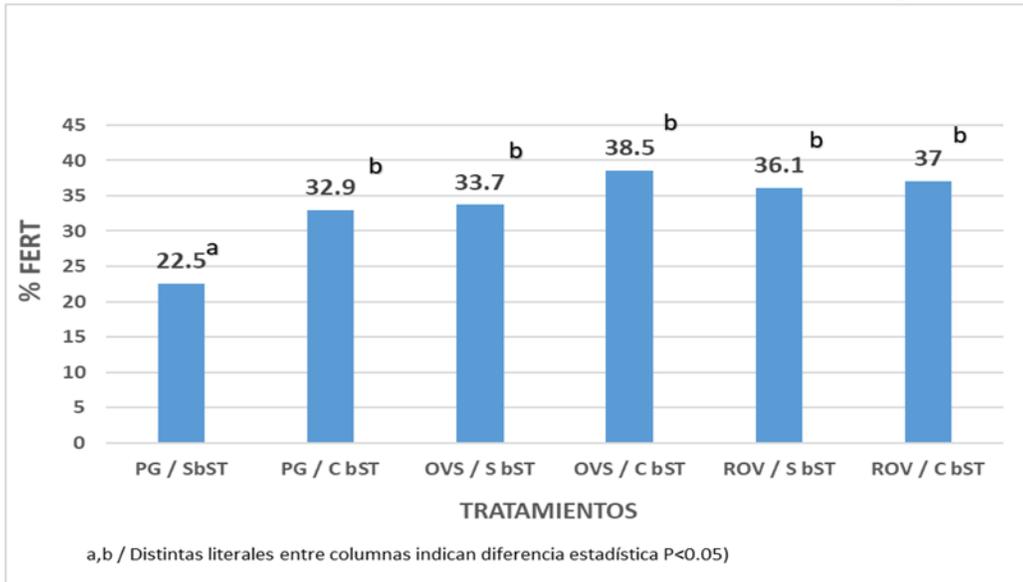
($P>0.05$).

Figura 2: Tasa de fertilidad del primer servicio posparto por efecto de tratamiento



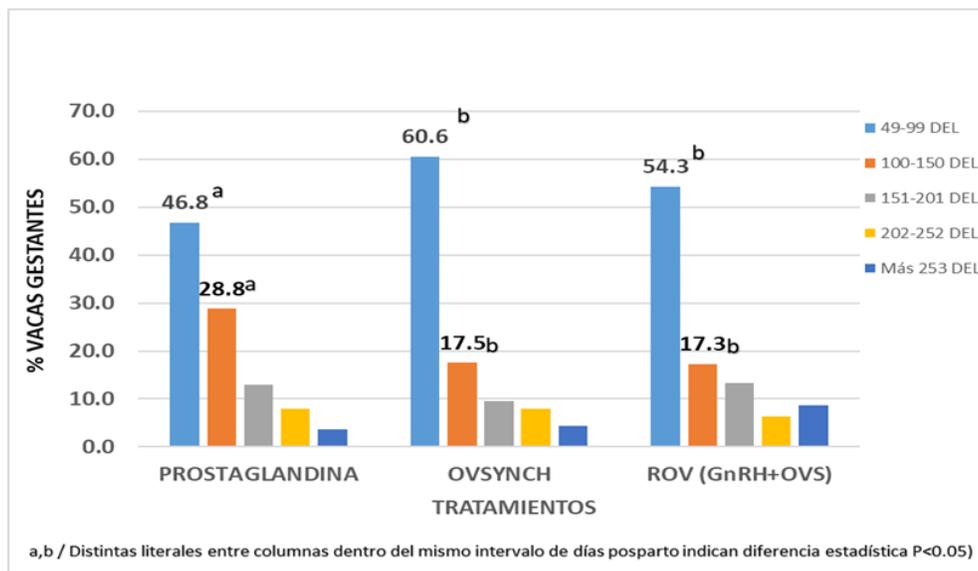
No se detectó efecto simple de bST ($P>0.05$) sobre la fertilidad al primer servicio posparto de las vacas lecheras (36.2 vs 30.6 %, con bST y sin bST). PG-sin bST presentó una menor fertilidad al primer servicio posparto (22.5 %), que el resto de los tratamientos ($P<0.05$) (Figura 3).

Figura 3: Tasa de fertilidad del primer servicio posparto (FERT) del tratamiento (PG-OVS - ROV) con (C bST) o sin (S bST) administración de somatotropina



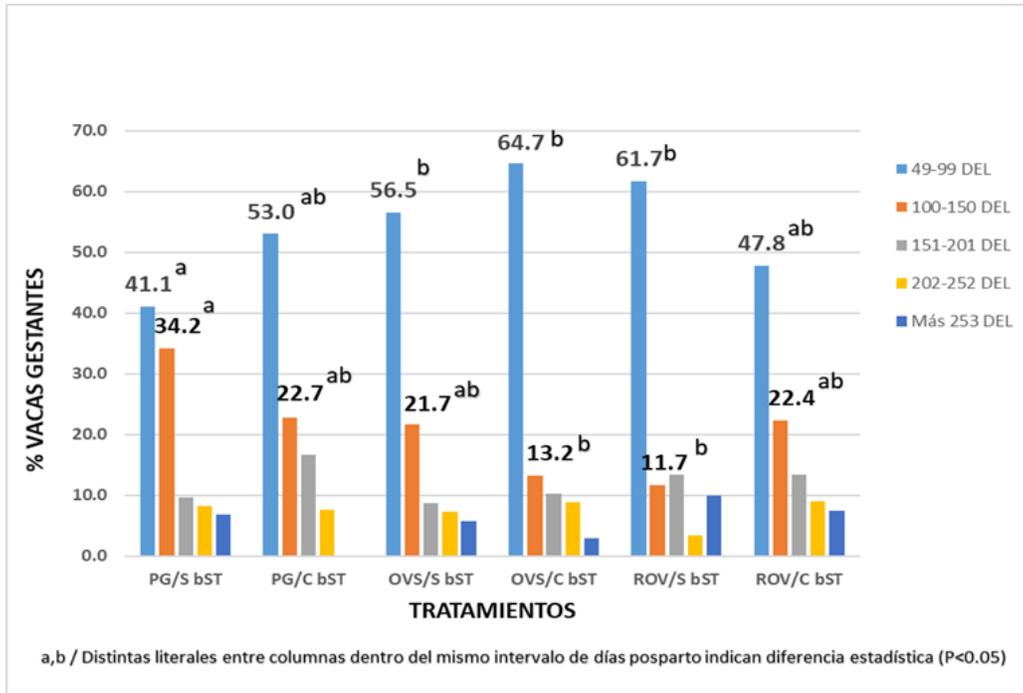
El porcentaje de vacas gestantes a los 99 d posparto fue mayor en los tratamientos Ovsynch (60.6 %) y ROV (54.3 %) que lo observado en el tratamiento con Prostaglandina (46.8 %) ($P<0.05$). Posteriormente entre 100 a 150 días posparto en el tratamiento con Prostaglandina se gestaron el 28.8 % de las vacas, dato superior a lo observado en los tratamientos de Ovsynch (17.5 %) y ROV (17.3 %) ($P<0.05$) (Figura 4). No se detectó efecto simple de bST ($P>0.05$) sobre el porcentaje de vacas gestantes a los 99 días posparto ($P>0.05$).

Figura 4: Distribución porcentual de las vacas gestantes durante el posparto (DEL) por efecto del tratamiento



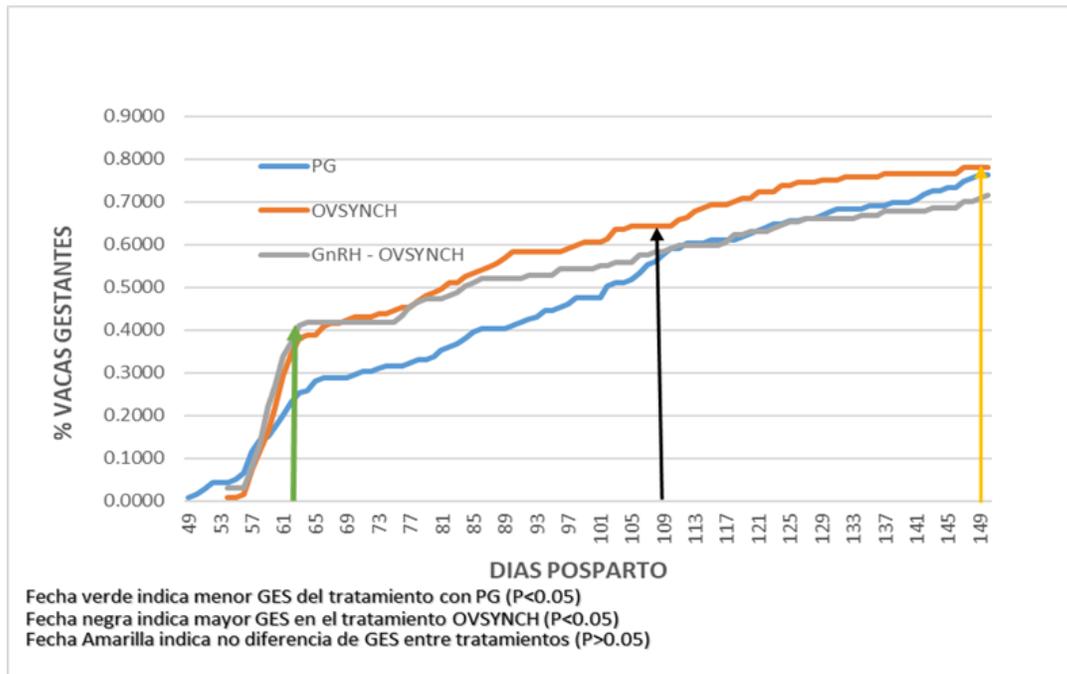
El porcentaje de vacas gestantes a 99 d posparto de los tratamientos de Ovsynch con o sin bST (64.7 y 56.5 %, respectivamente) y ROV sin bST (61.7 %) fue superior a lo observado en el tratamiento de PG sin bST (41.1 %) ($P<0.01$). De 100 a 150 días posparto, en el tratamiento de PG sin bST se gestaron el 34.2 % de las vacas, y fue superior a lo observado en los tratamientos OVS con bST (13.2 %) y a ROV sin bST (11.7 %) ($P<0.05$) (Figura 5).

Figura 5: Distribución de las vacas gestantes durante el posparto (DEL) por efecto de la interacción tratamiento Con (C bST) o sin (S bST) administración de somatotropina



En la Figura 6 se muestra el porcentaje de vacas gestantes acumulado en los primeros 150 días posparto por efecto de tratamiento de sincronización, en el que se observa que los tratamientos OVS y ROV a partir del día 62 un porcentaje acumulado de vacas gestantes (29.2 y 33.8 %) superior a lo observado en el tratamiento PG (23.0 %) ($P<0.05$). Esta diferencia se incrementó substancialmente hacia el día 65 en los tratamientos OVS (38.7 %) y ROV (41.7 %) comparado con lo observado con el tratamiento PG (28.0 %) ($P<0.05$); los tratamientos OVS y ROV mantuvieron esta diferencia significativa hasta 109 y 145 días en leche, respectivamente ($P<0.05$). Después de los 150 días en leche el porcentaje de gestación acumulada entre los tres tratamientos fue similar ($P>0.05$).

Figura 6: Tasa de gestación acumulada durante el posparto por efecto de tratamiento



En el Cuadro 3 se presenta un mayor intervalo parto a concepción en las vacas tratadas con PG sin bST (144.6 días) que en el resto de los tratamientos ($P<0.05$); Se observaron menos servicios por concepción en los grupos de vacas tratadas con Ovsynch y con PG más bST al momento del servicio (2.2 y 2.3, respectivamente) respecto a lo observado en las vacas tratadas solamente con PG sin bST al servicio (2.8), en aquellas del grupo ROV con bST (2.7) ($P<0.05$).

Cuadro 3: Efecto del tratamiento sobre el intervalo parto a concepción (IPC) y el número de servicios por concepción (NSC)

Tratamiento	n	IPC	NSC
PG sin bST	73	144.6 ± 6.7 a	2.8 ± 0.1 a
PG con bST	66	108.4 ± 9.4 b	2.3 ± 0.2 b
OVS sin bST	69	115.4 ± 9.2 b	2.4 ± 0.2 ab
OVS con bST	68	106.4 ± 9.3 b	2.2 ± 0.2 b
ROV sin bST	60	118.3 ± 9.9 b	2.4 ± 0.2 ab
ROV con bST	67	125.3 ± 9.4 b	2.7 ± 0.2 a

bST: Inyección de somatotropina al momento de la inseminación artificial (IA).

OVS: [d 0, GnRH; d 7, PG; d 9, GnRH; d 10, IA].

ROV: [d -7, GnRH; más Ovsynch].

^{a,b} Distintas literales por columna indican diferencia estadística significativa ($P<0.05$).

Discusión

Los programas de sincronización del estro e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) mejoraron la fertilidad del primer servicio posparto en vacas lecheras en condiciones de estrés calórico; con lo que estos programas demuestran su bondad para superar el efecto negativo de la productividad de la vaca lechera sobre la fertilidad del primer servicio posparto^(40,41), e incluso como efecto negativo aditivo al estrés calórico⁽¹⁻⁶⁾.

Las tasas de fertilidad observadas en el primer servicio posparto en los IATF coinciden con lo informado en otros estudios^(7-16,20); que pudiera estar relacionado con una mayor tasa de ovulación de un folículo apto para ser fertilizado⁽⁷⁾, y con una mayor concentración circulante de la hormona progesterona^(12,15), comparado con esquemas donde las vacas no fueron pre-sincronizadas. Sin embargo, otros estudios realizados en vacas lecheras bajo condiciones de estrés calórico encontraron una respuesta reproductiva menos eficiente que lo observado en vacas en confort térmico^(12,14,15). Se ha establecido en vacas lecheras un efecto del estrés calórico que reduce la calidad de los folículos y la competencia del ovocito^(16-20,42), la tasa de ovulación⁽⁷⁻⁸⁾; y menores diámetros del folículo ovulatorio⁽⁸⁾. Algunos estudios determinaron que al administrar el factor liberador de las gonadotropinas (GnRH)⁽¹⁹⁾ o reemplazar a los folículos dominantes⁽²⁰⁾ en vacas lecheras durante la época de verano, se mejoraba la competencia del ovocito para ser fertilizado y obtenían un mayor porcentaje de embriones que alcanzarían el estadio de blastocito en estudios *in vitro*; y concluyeron que la competencia del ovocito estuvo comprometida por las condiciones de calor del verano⁽¹⁹⁻²⁰⁾. Esta falla en la competencia del ovocito, también ha sido informada por otros autores^(17,18), bajo condiciones de estrés calórico. Especialmente en el caso de las vacas repetidoras^(17,31); aún cuando la fertilidad de los ovocitos fertilizados *in vitro* en las épocas de invierno y verano fueron similares⁽¹⁷⁾, lo que enfatiza la importancia de minimizar el efecto del estrés calórico y que probablemente los esquemas de IATF tuvieron un efecto benéfico al mejorar la calidad folicular y la competencia del ovocito. La administración del factor liberador de las gonadotropinas (GnRH: i.e., tratamiento ROV), previo al programa Ovsynch, con la intención de generar el reemplazo folicular, no mejoró la fertilidad del primer servicio posparto, la cual fue similar a la observada en vacas del grupo de OVS (Ovsynch), lo que puede indicar que este último esquema de inseminación artificial a tiempo fijo fue suficiente para mejorar la calidad folicular y la competencia del ovocito; cuyos resultados coinciden con lo observado en otros estudios^(21,22), y que solo el recambio folicular previo al inicio del programa Ovsynch puede mejorar la fertilidad en aquellas vacas que presentaron problemas uterinos en el posparto temprano y con baja condición corporal⁽²¹⁾.

Se ha determinado que la pérdida de la condición física corporal de la vaca y la profundidad del balance negativo de energía afectan la fertilidad del primer servicio posparto^(43,44) al afectar la competencia del ovocito^(45,46); y dadas las condiciones de salud y condición física corporal aceptables de las vacas en el presente estudio permiten inferir que estos efectos negativos fueron controlados. Por otra parte, al obtener una fertilidad del primer servicio posparto mayor al 36 % en los programas de inseminación artificial a tiempo fijo observados en el presente estudio en condiciones de estrés calórico fue excelente, si se compara con la fertilidad reportada en vacas con un alto potencial productivo^(40-41,47) y en condiciones de estrés calórico⁽¹⁻⁶⁾. Por otro lado, la administración de somatotropina bovina (bST) al momento de la inseminación artificial a tiempo fijo no fue un efecto determinante como variable principal para mejorar la fertilidad del primer servicio posparto, como lo informa Jousan et al.⁽²⁴⁾, por lo que posiblemente los programas de sincronización del estro e inseminación artificial a tiempo fijo fueron suficientes al eliminar el folículo dañado por efecto del estrés calórico e inducir una nueva emergencia folicular, mejorar la calidad del folículo ovulatorio y la competencia del ovocito como se ha descrito en otros estudios^(19,20). Sin embargo, el hecho que en el grupo de vacas tratadas sólo con prostaglandina sin la administración de somatotropina al momento del servicio hayan tenido entre 10.4 y 16 puntos porcentuales menos de fertilidad en el primer servicio posparto con respecto a lo observado en vacas tratadas con somatotropina, de forma significativa, indica un efecto positivo de ésta sobre la fertilidad del primer servicio posparto, como se ha documentado en otros estudios con tratamientos de bST a partir de los 61 a 63 días en leche y con aplicaciones repetidas de esta hormona cada 10^(25,48,49) o 14 días^(26,35,36), al mejorar el desarrollo del cuerpo lúteo e incrementar la producción de progesterona del mismo^(28,29), tanto en vacas repetidoras^(30,31), como en vacas receptoras de embriones⁽³²⁾; y se ha inferido que este efecto benéfico involucra al factor de crecimiento parecido a la insulina tipo I (IGF-1) que parece estar asociado con el proceso de la maduración final del ovocito, del desarrollo folicular, y la esteroidogénesis^(34,50,51); e incrementa, en estudios *in vitro*, la tasa de preñez de los embriones transferidos⁽⁵²⁾.

Por otra parte, se ha observado en los programas de administración de bST cada 14 días utilizados en vacas lecheras con el fin de incrementar la producción de leche⁽²⁴⁻²⁶⁾ que se afecta negativamente la expresión del estro^(25,36); por lo que se ha sugerido que el uso de bST se acompañe con protocolos de inseminación a tiempo fijo para asegurar el 100 % de las vacas inseminadas⁽³⁶⁾; con esto aún cuando la fertilidad del primer servicio posparto en condiciones de estrés calórico no tiene un efecto relevante con la bST como variable principal, al menos con la IATF se elimina el riesgo de no detectar en celo a las vacas.

En consecuencia, al incrementarse el porcentaje de vacas gestantes en el primer tercio de la lactancia en los programas de inseminación a tiempo fijo entre 15.4 y 23.6% comparado con el manejo tradicional, como se ha confirmado en otros estudios^(9-11,14), se asegura un nuevo ciclo productivo y se reduce el riesgo de eliminación de las vacas del hato por causas

reproductivas. Por otra parte, las vacas gestantes con tratamientos de sincronización del celo con prostaglandinas sin bST al servicio presentaron entre 19.3 y 38.6 más días abiertos que los demás tratamientos, lo que implica que al menos tienen entre uno y dos ciclos estrales perdidos que significan costos extras en el ciclo reproductivo de la vaca lechera.

Conclusiones e implicaciones

La administración del factor liberador de las gonadotropinas (GnRH) previo al programa Ovsynch (ROV) y la administración de somatotropina bovina (bST) al momento de la inseminación, no mejoraron la fertilidad del primer servicio posparto. Los esquemas de inseminación artificial a tiempo fijo mejoraron la fertilidad del primer servicio posparto e incrementaron la tasa de vacas gestantes en los primeros 99 días posparto. La somatotropina bovina incrementa la fertilidad del primer servicio posparto solo en vacas tratadas con prostaglandina, pero no en vacas en programas de inseminación a tiempo fijo en condiciones de estrés calórico.

Literatura citada:

1. Al-Katanani MY, Webb DW, Hansen PJ. Factors affecting seasonal variation in 90-d nonreturn rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *J Dairy Sci* 1999;82:2611-2616.
2. Ravagnolo O, Misztal I. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holsteins: fixed-model analyses. *J Dairy Sci* 2002;85:3101-3106.
3. Wolfenson D, Roth Z, Meidan R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim Reprod Sci* 2000;60:535-547.
4. Lozano-Dominguez RR, Vásquez-Peláez CG, González-Padilla E. Factores asociados del estrés calórico y producción de leche sobre la tasa de gestación en bovinos en sistemas intensivos. *Tec Pecu Mex* 2005;43(2):197-210.
5. Lozano-Domínguez RR, Asprón-Pelayo MA, Vásquez-Peláez CG, González-Padilla E, Aréchiga-Flores CF. Efecto del estrés calórico sobre la producción embrionaria en vacas superovuladas y la tasa de gestación en receptoras. *Rev Mex Cienc Pecu* 2010; 1(3):189-203.
6. Huang C, Tsuruta S, Bertrand JK, Misztal I, Lawlor TJ, Clay JS. Environmental effects on conception rate of Holstein in New York and Georgia. *J Dairy Sci* 2008;9(2):818–825.

7. Borman JM, Radcliff RP, McCormack BL, Kojima FN, Patterson DJ, Macmillan KL, Lucy MC. Synchronisation of oestrus in dairy cows using prostaglandin F₂alpha, gonadotrophin-releasing hormone, and oestradiol cypionate. *Anim Reprod Sci* 2003; 76(3-4):163-176.
8. Pereira MHC, Wiltbank MC, Barbosa LF, Costa Jr WM, Carvalho MA, Vasconcelos JLM. Effect of adding a gonadotropin-releasing-hormone treatment at the beginning and a second prostaglandin F_{2α} treatment at the end of an estradiol-based protocol for timed artificial insemination in lactating dairy cows during cool or hot seasons of the year. *J Dairy Sci* 2014;98(2):947-959.
9. Thatcher WW, De la Sota RL, Schmitt EJ, Diaz TC, Badinga L, Simmen FA, Staples CR, Drost M. Control and management of ovarian follicles in cattle to optimize fertility. *Reprod Fertil Dev* 1996;8(2):203-217.
10. De la Sota RL, Burke JM, Risco CA, Moreira F, DeLorenzo MA, Thatcher WW. Evaluation of timed insemination during summer heat stress in lactating dairy cattle. *Theriogenology* 1998;49(4):761-770.
11. 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.
12. Peters MW, Pursley JR. Fertility of lactating dairy cows treated with ovsynch after presynchronization injections of PGF_{2α} and GnRH. *J. Dairy Sci* 2002;85:2403-2406.
13. Diskin MG, Austin EJ, Roche JF. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. *Dom Anim Endocrinol* 2002; 23(1-2):211-228.
14. Aréchiga CF, Staples CR, McDowell LR, Hansen PJ. Effects of timed insemination and supplemental β carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J Dairy Sci* 1998;81:390-402.
15. Stevenson JS, Kobayashi Y, Thompson KE. Reproductive performance of dairy cows in various programmed breeding systems including Ovsynch and combinations of gonadotropin-releasing hormone and prostaglandin F_{2α}. *J Dairy Sci* 1999;82:506-515.
16. Carvalho PD, Guenther JN, Fuenzalida MJ, Amundson MC, Wiltbank MC, Fricke PM. Presynchronization using a modified Ovsynch protocol or a single gonadotropin-releasing hormone injection 7 d before an Ovsynch-56 protocol for submission of lactating dairy cows to first timed artificial insemination. *J Dairy Sci* 2014;97(10): 6305-6315.

17. Ferreira RM, Ayres H, Chiaratti MR, Ferraz ML, Araújo AB, Rodrigues CA, *et al.* The low fertility of repeat-breeder cows during summer heat stress is related to a low oocyte competence to develop into blastocysts. *J Dairy Sci* 2011;94(5):2383-2392.
18. Edwards JL, Bogart AN, Rispoli LA, Saxton AM, Schrick FN. Developmental competence of bovine embryos from heat-stressed ova. *J Dairy Sci* 2009;92(2):563-570.
19. 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* 2001;122:737-744.
20. 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.
21. Friedman E, Voet H, Reznikov D, Wolfenson D, Roth Z. Hormonal treatment before and after artificial insemination differentially improves fertility in subpopulations of dairy cows during the summer and autumn. *J Dairy Sci* 2014;97(12):7465-7475.
22. Bruno RG, Farias AM, Hernández-Rivera JA, Navarrete AE, Hawkins DE, Bilby TR. Effect of gonadotropin-releasing hormone or prostaglandin F_{2α}-based estrus synchronization programs for first or subsequent artificial insemination in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2013;98(3):1556-1567.
23. Bauman DE, Everett RW, Weiland WH, Collier RJ. Production responses to bovine somatotropin in northeast dairy herds. *J Dairy Sci.* 1999; 82(12):2564-2573.
24. Jousan FD, De Castro e Paula LA, Block J, Hansen PJ. Fertility of lactating dairy cows administered recombinant bovine somatotropin during heat stress. *J Dairy Sci* 2007; 90(1):341-351.
25. Rivera F, Narciso C, Oliveira R, Cerri RLA, Correa-Calderon A, Chebel RC, Santos JEP. Effect of bovine somatotropin (500 mg) administered at ten-d intervals on ovulatory responses, expression of estrus, and fertility in dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93(4):1500-1510.
26. Collier RJ, Byatt JC, Denham SC, Eppard PJ, Fabellar AC, Hintz RL, McGrath MF, McLaughlin CL, Shearer JK, Veenhuizen JJ, Vicini JL. Effects of sustained release bovine somatotropin (Sometribove) on animal health in commercial dairy herds. *J Dairy Sci* 2001;84(5):1098-1108.
27. Bauman DE, St-Pierre NR, Milliken GA, Collier RJ, Hogan JS, Shearer JK, Smith KL, Thatcher WW. An updated meta-analysis of bovine somatotropin: effects on health

- and welfare of dairy cows. 24th Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Indiana, USA, 20-22 April, 2015.
28. 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(6):1237-1247.
 29. Bilby CR, Macmillan KL, Verkerk GA, Peterson JA, Koenigsfeld A, Lucy MC. A comparative study of ovarian function in American (US) Holstein and New Zealand (NZ) Friesian lactating dairy cows [abstract]. *J Dairy Sci* 1998; 81(Suppl 1):222 .
 30. Morales-Roura JS, Zarco L, Hernández-Ceron J, Rodríguez G. Effect of short-term treatment with bovine somatotropin at estrus on conception rate and luteal function of repeat-breeding dairy cows. *Theriogenology* 2001;55:1831-1841.
 31. Mendoza-Medel G, Hernández-Cerón J, Zarco-Quintero LA, Gutiérrez CG. Porcentaje de concepción en vacas Holstein repetidoras tratadas con somatotropina bovina al momento de la inseminación. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(2):177-183.
 32. 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.
 33. Moreira F, Orlandi C, Risco CA, Mattos R, Lopes F, Thatcher WW. Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2001;84(7):1646-1659.
 34. Lucy MC. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *J Dairy Sci* 2001;84(6):1277-1293.
 35. Collier RJ, Miller MA, McLaughlin CL, Johnson HD, Baile CA. Effects of recombinant bovine somatotropin (rbST) and season on plasma and milk insulin-like growth factors I (IGF-I) and II (IGF-II) in lactating dairy cows. *Domest Anim Endocrinol* 2008;35(1):16-23.
 36. Santos JEP, Juchem SO, Cerri RLA, Galvao KN, Chebel RC, Thatcher WW, Dei CR, Bilby CR. Effect of bST and reproductive management on reproductive performance of Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2004;87(4):868-881.
 37. Ingraham RH, Stanley RW, Wagner WC. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Hosltein cows in Hawaii. *J Dairy Sci* 1976;59(12):2086-2090.
 38. Ferguson JD, Galligan DT, Thomsen N. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 1994;77:2695-2703.

39. SAS. Statistical Analysis System. In: SAS/STAT user's guide. Release 6.03. Cary, NC, SAS Institute Inc. 1988.
40. Royal M, Mann GE, Flint AP. Strategies for reversing the trend towards subfertility in dairy cattle. *The Vet J* 2000;160:53-60.
41. Ferris CP, Patterson DC, Gordon FJ, Watson S, Kilpatrick DJ. Calving traits, milk production, body condition, fertility, and survival of Holstein-Friesian and Norwegian Red dairy cattle on commercial dairy farms over 5 lactations. *J Dairy Sci* 2014; 97(8):5206–5218.
42. 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.
43. Beam SW, Butler WR. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J Reprod Fertil* 1999;54(Suppl):411-424.
44. Pollott GE, Coffey MP. The effect of genetic merit and production system on dairy cow fertility, measured using progesterone profiles and on-farm recording. *J Dairy Sci* 2008;9(9):3649–3660.
45. Boland MP, Lonergan P, O'Callaghan D. Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology, and oocyte and embryo development. *Theriogenology* 2001; 55:1323-1340.
46. Leroy JLMR, Vanholder T, Mateusen B, Christophe A, Opsomer GA, de Kruif G, Genicot G, Van Soom A. Non-esterified fatty acids in follicular fluid of dairy cows and their effect on developmental capacity of bovine oocytes *in vitro*. *Reproduction* 2005;130:485-495.
47. Royal MD, Darwash AO, Flint APF, Webb R, Wolliams JA, Lamming GE. Declining fertility in dairy cattle: changes in traditional and endocrine parameters of fertility. *J Anim Sci* 2000;70:487-501.
48. Bell A, Rodríguez OA, De Castro e Paula LA, Padua MB, Hernández-Cerón J, Gutiérrez CG, De Vries A, Hansen PJ. Pregnancy success of lactating Holstein cows after a single administration of a sustained-release formulation of recombinant bovine somatotropin. *BMC Vet Res* 2008;4:22.
49. Rodríguez A, Díaz R, Ortiz O, Gutiérrez CG, Montaldo H, García C, Hernández-Cerón J. Porcentaje de concepción al primer servicio en vacas Holstein tratadas con hormona del crecimiento bovina en la inseminación. *Vet Méx* 2009;40:1-7.
50. Lucy MC. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *J Dairy Sci* 2000;83(7):1635-1647.

51. Bilby TR, Sozzi A, Lopez MM, Silvestre FT, Ealy AD, Staples CR, Thatcher WW. Pregnancy, bovine somatotropin, and dietary n-3 fatty acids in lactating dairy cows: I. Ovarian, conceptus, and growth hormone-insulin-like growth factor system responses. *J Dairy Sci* 2006;89:3360-3374.
52. Block J, Hansen PJ. Interaction between season and culture with insulin-like growth factor-1 on survival of *in vitro* produced embryos following transfer to lactating dairy cows. *Theriogenology* 2007;67:1518-1529.