


Relación entre el desarrollo corporal y la respuesta reproductiva de vaquillas a protocolos de sincronización de estros en el sistema lechero de pequeña escala



Eliab Estrada-Cortés ^a

Fernando Villaseñor-González ^a

Héctor Raymundo Vera-Ávila ^b

Héctor Jiménez-Severiano ^c

Eugenio Villagómez-Amezcu Manjarrez ^d

Mario Alfredo Espinosa-Martínez ^{c*}

^a Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. México.

^b Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. México.

^c INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Km. 1 Carr. Ajuchitlán-Colón, 76280, Querétaro, México.

^d INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. México

*Autor de correspondencia: espinosa.mario@inifap.gob.mx

Resumen:

Los objetivos fueron determinar la respuesta reproductiva de vaquillas Holstein en hatos lecheros de pequeña escala a protocolos de sincronización de estros basado en prostaglandinas (PG) benzoato de estradiol (BE) y progesterona (P4). Vaquillas con al menos 13 meses de edad (n= 138) fueron aleatoriamente incluidas a uno de dos protocolos de

sincronización: PG) administración de 500 µg cloprostenol i.m. al día 0 y al día 14; y PGPE) similar a PG pero con una aplicación adicional de 100 mg P4 + 2 mg BE en el día 7. La tasa de estros del grupo PG fue similar al grupo PGPE (84.3 vs 79.4 %; $P>0.1$). Las vaquillas en PGPE tuvieron mayor porcentaje de estros entre las 37-84 h post tratamiento vs el grupo PG (94.2 vs 82.5 %; $P=0.05$). La tasa de concepción del grupo PGPE fue mayor vs el grupo PG (94.4 vs 83.1 %; $P=0.05$). En el grupo PG, el desarrollo corporal al destete fue menor en vaquillas que no mostraron estro vs las que si mostraron ($P<0.05$). Sin embargo, en el grupo PGPE el peso al nacimiento fue menor en las vaquillas que mostraron estro vs las que no mostraron estro ($P<0.05$). En conclusión, las vaquillas del sistema lechero de pequeña escala presentan buena respuesta reproductiva a la sincronización de estros basada en prostaglandinas (cloprostenol). La inclusión de BE + P4 al protocolo de sincronización hormonal con PG mejora la tasa de concepción, pero tiene un efecto mínimo en la distribución del inicio de la expresión de los estros después del tratamiento.

Palabras clave: Sincronización de estros, Vaquillas, Hatos lecheros de pequeña escala.

Recibido: 30/05/2022

Aceptado: 07/12/2023

Introducción

La inseminación artificial (IA) constituye una de las tecnologías reproductivas más efectivas para acelerar el progreso genético en los hatos bovinos. Las tasas de concepción al primer servicio en vaquillas mediante IA fluctúan entre el 45 y 75 %^(1,2,3). Para obtener los mejores resultados se debe de tener una detección de estros eficiente o esquemas de sincronización de estros u ovulación que permitan inseminar en los periodos de mayor fertilidad. Sin embargo, las fallas en la detección de estros constituyen uno de los problemas más recurrentes, incluso con empleo de tecnologías para su detección^(4,5,6). Las evidencias sugieren que alrededor del 30 % de los estros registrados en hatos lecheros, en realidad no lo son⁽⁷⁾ y la precisión puede llegar sólo hasta un 50 %⁽⁵⁾. Por lo anterior, la IA en el sistema intensivo se realiza comúnmente en conjunto con programas de pre-sincronización y sincronización hormonal e inseminación artificial a tiempo fijo^(8,9).

En el sistema lechero de pequeña escala, se han identificado problemas de ineficiencia reproductiva y subóptimo desarrollo corporal de las vaquillas durante su periodo de crianza, aumentando la edad al primer parto^(10,11). El inadecuado manejo reproductivo y en particular el problema de detección de estros en este sistema, se potencializa debido a que los propios productores son los responsables de realizar todas las actividades de manejo del hato, además

de las labores de agricultura⁽¹²⁾, lo que complica la incorporación de protocolos intensivos para el manejo reproductivo similar a los implementados en hatos especializados^(8,9). Además, los productores en el sistema lechero de pequeña escala prefieren inseminar sólo animales en estro franco debido a que lo asocian a mayor fertilidad.

El protocolo de sincronización de estros basado en prostaglandinas (PG) constituye una alternativa para vaquillas del sistema lechero de pequeña escala debido a que es sencillo de aplicar. Sin embargo, la presentación de estros se dispersa entre 2 y 5 días después de terminados los tratamientos debido a la edad o tamaño variable que puede tener el folículo dominante al momento de la aplicación de PG^(13,14,15). La inducción hormonal del reinicio de una nueva oleada de desarrollo folicular durante los protocolos de sincronización permite que los animales tengan folículos con pocos días de dominancia al momento del servicio^(16,17), lo cual ha sido asociado a una mayor tasa de concepción al servicio⁽¹⁸⁾. Además, el uso de benzoato de estradiol (BE) + progesterona (P4) para inducir una nueva onda de desarrollo folicular ha sido asociado a una mejor sincronía en la manifestación de estros, después de una sincronización con PG en ganado de carne⁽¹⁹⁾. Una reducción en la dispersión de la presentación de estros podría disminuir el tiempo invertido para realizar detección de estros e IA cuando se programen grupos de animales para servicio.

Por otro lado, el subóptimo desarrollo corporal de las becerras durante la recría no solamente contribuye con el incremento de las edades al primer parto, también puede afectar el desempeño productivo futuro de los reemplazos. Por ejemplo, un incremento de 100 g por día en la ganancia diaria de peso entre el primero y los catorce meses de edad se puede traducir en un aumento de leche, grasa y proteína (345 L, 6.1 kg y 7.5 kg, respectivamente) a los 250 días en leche de su primera lactancia⁽²⁰⁾. Estudios recientes sustentan que diferentes eventos (incluyendo el desarrollo corporal) que suceden en la vida pre- y post- natal de los animales, pueden influir en la salud y desempeño productivo futuro de los mamíferos⁽²¹⁻²⁵⁾, lo que se conoce como programación del desarrollo. Los animales en edades tempranas del sistema de pequeña escala están comúnmente expuestos a eventos que pueden influir en su productividad, sin embargo, sus efectos sobre el desempeño reproductivo no han sido explorados en este sistema.

Los objetivos del presente estudio fueron determinar la respuesta reproductiva de vaquillas Holstein en hatos lecheros de pequeña escala a protocolos de sincronización de estros basado en prostaglandinas, y determinar si la inclusión de benzoato de estradiol y progesterona al protocolo mejora la sincronía en la presentación del estro y la tasa de concepción. Adicionalmente, se evaluó si existe una asociación entre el desarrollo corporal temprano de las vaquillas con su respuesta reproductiva a la sincronización.

Material y métodos

El estudio se realizó en la región de Los Altos de Jalisco, México. Esta región mantiene un clima templado subhúmedo, con una temperatura promedio anual de 17.8 °C y una precipitación promedio anual de 817 mm⁽²⁶⁾. Se incluyeron 138 vaquillas Holstein mantenidas en unidades de producción de leche (n=11), con un promedio de 70 vacas en producción, característico del sistema familiar o de pequeña escala de la región de Los Altos de Jalisco⁽²⁷⁾. Los criterios considerados para que las vaquillas iniciaran sus protocolos de sincronización de estros, fueron tener un peso corporal mínimo de 290 kg y al menos 13 meses de edad, considerando valores mínimos necesarios recomendados en el sistema familiar⁽²⁸⁾. Aunque no se determinó si las vaquillas estaban ciclando al momento de realizar su servicio, se asumió que ya presentaban esta condición, ya que se ha descrito que la pubertad en vaquillas Holstein puede iniciar desde los 6 meses de edad, con un promedio de 8.2 meses⁽²⁹⁾, edad considerablemente inferior al mínimo de edad establecida en este estudio para recibir el servicio (13 meses).

La estimación del peso corporal se realizó mediante la medición del perímetro torácico, con ayuda de una cinta métrica especializada para hembras bovinas de la raza Holstein (Coburn; Whitewater, WI, USA), mientras que la altura a la cruz se obtuvo mediante un flexómetro (Teletape, Ketchum, Ontario, Canadá). Al realizar la inseminación de las vaquillas, se registró su condición corporal considerando una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a un animal en estado de emaciación y un valor de 5 corresponde a un animal obeso⁽³⁰⁾.

Grupos de al menos 6 vaquillas fueron incluidas por unidad de producción y seleccionadas al azar para su incorporación a uno de los dos protocolos de sincronización del estro. En el protocolo denominado PG (n= 70), se aplicó vía intramuscular una dosis de prostaglandinas (500 µg de Cloprostenol, Inducel[®]) al día 0 y una segunda dosis al día 14. En el protocolo denominado PGPE (n= 68), se aplicó una dosis de prostaglandinas (500 µg de Cloprostenol) al día 0, una dosis de 2 mg de benzoato de estradiol (Syntex, Zoetis, Kalamazoo, MI, USA) más 100 mg de progesterona (Horproges, Guadalajara, Jalisco, México) en el día 7, y una segunda dosis de prostaglandinas al día 14. Las dosis de BE + P4 fueron elegidas de acuerdo con las utilizadas en estudios previos en vaquillas de carne^(31,32). Ninguna vaquilla en el estudio tuvo algún tratamiento hormonal previo.

Se implementó un sistema de detección de estros de manera visual. Este sistema consistió en la observación por periodos de 60 min durante la mañana y 60 min durante la tarde, por cinco días consecutivos a partir de la segunda aplicación de Cloprostenol. El inicio del estro se definió cuando las vaquillas permitían la monta por primera vez y permanecían inmóviles. La inseminación artificial se realizó 12 h después del inicio del estro y por un solo técnico en todos los casos. El semen utilizado provenía del mismo toro para reducir la variación de la

fertilidad por efecto de toro. Cuando no se visualizó un estro en las vaquillas, se procedió a su inseminación transcurridos cinco días después de la segunda aplicación de Cloprostenol, manejo que se implementó a petición de los productores cooperantes.

Se realizó evaluación del tamaño del folículo potencialmente ovulatorio mediante ultrasonografías transrectales (UMS900 Universal Imaging, New York, USA) el día de la inseminación de las vaquillas. A los 45 días post inseminación, se realizó el diagnóstico de gestación a través de la técnica de palpación rectal y con apoyo del ultrasonido.

En las vaquillas que contaban con información de sus indicadores de crecimiento, se determinó de manera retrospectiva si existieron diferencias entre aquellas que mostraron estro *vs* las que no lo mostraron, dentro de cada protocolo de sincronización. Los indicadores considerados fueron el peso y altura al nacimiento, al destete y a los dos meses, la ganancia de peso al destete y del nacimiento al servicio. Además, se consideró la condición corporal al servicio.

Los análisis se realizaron en el programa estadístico SAS⁽³³⁾ y todos los análisis con un valor de $P \leq 0.05$ fueron considerados de significancia estadística. Las variables tasa de detección de estros, tasa de concepción, así como el porcentaje de vaquillas que mostraron estro entre las 37 y 84 h después de la segunda aplicación de Cloprostenol se analizaron por regresión logística ajustadas a una distribución binomial mediante el procedimiento GLIMMIX.

Las variables edad, peso corporal, y condición corporal al servicio, así como el diámetro del folículo ovulatorio y el inicio del estro (tiempo transcurrido entre la última aplicación de Cloprostenol y el inicio de un estro franco) se analizaron por ANOVA mediante el procedimiento GLM, considerando a la unidad de producción como bloque, dentro del modelo estadístico. Las variables edad al servicio y condición corporal al servicio se transformaron mediante su logaritmo natural previo a su análisis. El análisis retrospectivo dentro de cada grupo de sincronización (PG y PGPE) para los diferentes indicadores de crecimiento (peso, altura y ganancia de peso), se realizó por ANOVA y mediante el procedimiento GLM, también considerando a la unidad de producción como bloque en el modelo estadístico.

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los resultados sobre la edad, desarrollo corporal y la respuesta reproductiva al primer servicio de las vaquillas de acuerdo con el protocolo de sincronización. No se observaron diferencias significativas entre grupos de vaquillas para la edad, el peso y la condición corporal al momento del primer servicio ($P > 0.05$). Tampoco se observaron diferencias significativas entre grupos de vaquillas en la tasa de estros, tasa de

concepción total y el diámetro del folículo ovulatorio ($P>0.05$). Sin embargo, se encontró un efecto estadísticamente significativo en la tasa de concepción en las vaquillas que mostraron estro ($P=0.05$). El grupo de vaquillas del tratamiento PGPE tuvo una tasa de concepción mayor (94.44 %; 51/54) respecto al grupo del tratamiento PG (83.05 %; 49/59).

Cuadro 1: Respuesta reproductiva al primer servicio de las vaquillas de acuerdo con el protocolo de sincronización de estros

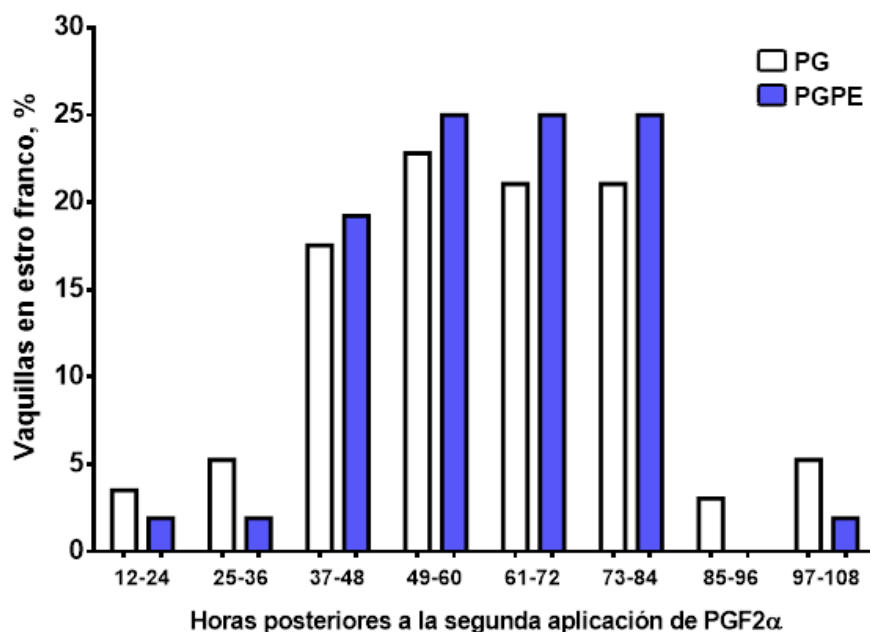
Variable	Protocolo de sincronización		
	PG	PGPE	P
N	70	68	-
Edad al servicio, días	462.97±5.3	459.8±6.0	NS
Peso al servicio, kg	359.4±4.2	355.2±4.3	NS
Condición corporal al servicio	3.31±0.05	3.32±0.05	NS
Tasa de estros, %	84.29 (59/70)	79.41 (54/68)	NS
Tasa de concepción total, %	82.61 (57/69)	85.29 (58/68)	NS
Tasa de concepción (sólo vaquillas en estro), %	83.05 (49/59)	94.44 (51/54)	0.05
Diámetro folículo preovulatorio, mm	11.09±0.30	11.00±0.29	NS

Las variables continuas se muestran como promedio ± error estándar. PG= administración de una dosis PGF2 α al día 0 y otra al día 14; PGPE= administración de una dosis PGF2 α , progesterona más benzoato de estradiol y PGF2 α al día 0, 7 y 14, respectivamente.

NS=No significativo ($P>0.05$).

En la Figura 1, se muestra la distribución del tiempo en el cual las vaquillas manifestaron el estro después de finalizados los protocolos de sincronización. Como se puede observar, el periodo en el cual se registró un porcentaje mayor en la manifestación de estros fue entre las 37 y 84 h, esto independientemente del protocolo de sincronización. Con base en esta información, se realizó un análisis estadístico para identificar qué grupo de tratamiento mostró un mayor porcentaje de vaquillas en estro entre las 37 y 84 h. Se observó diferencia significativa ($P=0.05$), en la cual el grupo de vaquillas del tratamiento PGPE tuvo un mayor porcentaje de animales mostrando estro (94.2 %; 49/52) respecto al grupo del tratamiento PG (82.5 %; 47/57).

Figura 1: Distribución de la manifestación del estro franco durante los siguientes 5 días (mostrados en periodos de 12 h) después de finalizados los protocolos de sincronización del estro



PG= administración de una dosis PGF2 α al día 0 y otra al día 14; PGPE= administración de una dosis PGF2 α , progesterona más benzoato de estradiol y PGF2 α al día 0, 7 y 14, respectivamente. ($P=0.05$).

En el Cuadro 2, se muestran los indicadores de crecimiento entre el nacimiento y el momento del primer servicio de los grupos de vaquillas de acuerdo con el protocolo de sincronización del estro y respuesta estral al mismo. Como se puede observar, las vaquillas que no mostraron estro en el grupo PG, tuvieron un menor peso y altura a los dos meses de edad ($P<0.05$) y tendencia a tener un menor peso ($P<0.1$) y ganancia diaria de peso al destete ($P<0.1$) respecto al grupo que mostró estro. Por su parte, las vaquillas que mostraron estro en el grupo PGPE, tuvieron menor peso al nacimiento ($P<0.05$) respecto al grupo que no mostró estro, pero no se observaron diferencias en el desarrollo al destete.

Cuadro 2: Indicadores de crecimiento de las vaquillas de acuerdo con el protocolo de sincronización del estro y la respuesta estral al tratamiento

Indicador	Protocolo de sincronización			
	PG		PGPE	
	No mostraron estro	Mostraron estro	No mostraron estro	Mostraron estro
N	4	22	3	22
Peso nacimiento, kg	39.67±1.18	40.76±0.44	43.78±1.51 ^a	40.35±0.51 ^b
Altura nacimiento, cm	82.12±1.65	81.66±0.64	82.69±3.62	80.69±1.23
Peso 2 meses, kg	62.06±4.44 ^a	76.70±1.64 ^b	81.74±8.12	70.43±2.77
Altura 2 meses, cm	89.51±1.79 ^c	93.69±0.66 ^d	96.00±3.23	91.00±1.10
Peso destete, kg	75.13±5.46 ^c	87.13±2.02 ^d	93.79±9.66	78.93±3.29
Altura destete, cm	92.55±2.63	95.00±0.97	97.40±3.24	92.54±1.10
GDP destete, kg/d	0.503±0.07 ^c	0.663±0.03 ^d	0.652±0.10	0.550±0.03
GDP nacimiento-servicio, kg/d	0.707±0.04	0.718±0.02	0.717±0.03	0.709±0.01

Valores mostrados como promedio ± error estándar. PG= administración de una dosis PGF_{2α} al día 0 y otra al día 14; PGPE= administración de una dosis PGF_{2α}, progesterona más benzoato de estradiol y PGF_{2α} al día 0, 7 y 14, respectivamente. GDP= ganancia diaria de peso.

^{abc} Distinta literal entre grupos para cada protocolo de sincronización indica diferencia estadística (^{ab} $P \leq 0.05$) o tendencia (^{cd} $P \leq 0.10$).

Discusión

El presente estudio fue enfocado en determinar si en los hatos lecheros de pequeña escala, las vaquillas responden favorablemente a protocolos de sincronización de estros basado en prostaglandinas y determinar si la inclusión de benzoato de estradiol y progesterona al protocolo mejora la sincronía en la presentación del estros y la tasa de concepción. Los resultados indicaron que las vaquillas de este sistema de producción muestran buena respuesta a la sincronización con prostaglandinas. Por su parte, la adición de dichas hormonas al protocolo convencional mejoró la tasa de concepción, pero la distribución de la manifestación de estros una vez que finalizó el protocolo de sincronización, sólo se redujo ligeramente.

Adicionalmente, en el presente estudio se evaluó si existía una asociación entre el desarrollo corporal desde el nacimiento hasta el servicio de las vaquillas con su respuesta reproductiva a la sincronización. Los resultados observados sugieren la existencia de una relación entre el desarrollo corporal de las vaquillas y la manifestación del estro después de la sincronización, sin embargo, estos no mostraron una tendencia clara.

Independientemente de la variante del protocolo utilizado, la tasa de estros y de concepción observada en el presente estudio fue sobresaliente (en un 14 y 20 % respectivamente) en comparación con los resultados observados en vaquillas Holstein sincronizadas con prostaglandinas del sistema especializado^(34,35). En las unidades de producción especializadas, la alta densidad de animales limita la eficiencia en la detección de estros⁽⁴⁾. Sin embargo, en los hatos lecheros cooperantes se tenían grupos pequeños de vaquillas en los cuales un equipo de trabajo externo apoyó con la detección de estros durante el estudio. Aunque el metabolismo de las vaquillas no es tan alto como ocurre en vacas lactando, se ha sugerido que animales con mayor potencial para producción de leche como los presentes en el sistema especializado, muestran una reducida intensidad y duración del estro lo cual dificulta su detección⁽³⁶⁾. La combinación de estos factores podría explicar porque la tasa de estros fue sobresaliente en el presente estudio.

Por otra parte, se ha observado una reducción en la fertilidad al servicio conforme la edad de las vaquillas aumenta (> 16 meses) al momento de ser inseminadas⁽³⁷⁾ o una amplia variabilidad en la fertilidad debido al semental utilizado⁽³⁸⁾. En el presente estudio, las vaquillas tenían entre 13 y 15 meses de edad al momento del servicio, se utilizó semen de un toro con fertilidad probada en la zona y se tuvo buena tasa de detección de estros, lo cual se asocia a una mejor fertilidad al servicio⁽⁴⁾. Estos factores podrían explicar por qué la tasa de concepción observada fue sobresaliente en el presente estudio respecto al sistema de producción especializado.

En este estudio también se evaluó la respuesta obtenida con la adición de benzoato de estradiol y progesterona al protocolo de sincronización de estros convencional basado en prostaglandinas. Esto, con el propósito de reducir la dispersión en la expresión de estros y mejorar la tasa de concepción. Independientemente del tratamiento utilizado, la mayoría de las vaquillas inició el estro franco entre las 37 y 84 h después de finalizado el protocolo de sincronización. Por su parte, la inclusión de benzoato de estradiol y progesterona al protocolo de sincronización hormonal mejoró la tasa de concepción al servicio e incrementó, aunque ligeramente, el porcentaje de presentación los estros entre las 37 y 84 h después de finalizar la sincronización (Figura 1). En estudios previos, se ha descrito que la inducción de una nueva onda de desarrollo folicular durante los protocolos de sincronización hormonal mejora la fertilidad al servicio^(16,17,18) y reduce la distribución de la presentación de estros después de la sincronización⁽¹⁹⁾.

Las tasas de concepción y estros observadas en el tratamiento PGPE, probablemente están asociadas a que la aplicación de benzoato de estradiol y progesterona indujo una nueva onda de desarrollo folicular y en consecuencia, el desarrollo de folículos ováricos en estadios más cercanos y en plenitud de dominancia al momento de la ovulación. Es conocido que la combinación de estrógenos y progesterona reduce las concentraciones séricas de gonadotropinas, lo cual ocasiona regresión del folículo dominante en turno (con tamaño

máximo, pero en algunos casos ya envejecido) e induce una nueva onda de desarrollo folicular durante la sincronización hormonal^(16,17). La presencia de folículos dominantes en plenitud favorece la expresión de genes, así como señales celulares que confieren mayor competencia a los folículos para que los ovocitos liberados sean fertilizados exitosamente y continúen su proceso de desarrollo embrionario^(39,40). Es importante resaltar, que los resultados respecto a las tasas de concepción y presentación de estros no estuvieron asociadas a la edad, el peso, la condición corporal al servicio o al tamaño del folículo ovulatorio, ya que fueron similares entre tratamientos (Cuadro 1).

En este estudio, además se evaluó si el desarrollo corporal temprano de los reemplazos podría afectar la respuesta reproductiva de las vaquillas a la sincronización de estros. Los resultados encontrados sustentan una asociación entre el desarrollo corporal en edades tempranas de las vaquillas y la manifestación del estro en respuesta a la sincronización. Las vaquillas que no mostraron estro en el grupo PG tuvieron un menor desarrollo corporal hasta los dos meses de edad. En estudios previos, se ha observado que una baja ganancia de peso en la etapa previa al destete repercute en la edad al primer servicio o a la concepción^(41,42). Por su parte, las vaquillas que mostraron estro en el grupo PGPE tuvieron menor peso al nacimiento, no obstante, su desarrollo corporal hasta el servicio fue similar entre animales que mostraron estro o no. Se ha indicado que un crecimiento compensatorio postnatal en becerras con bajo peso al nacer, les permite enfrentar eventos adversos como el destete y probablemente compensar su desempeño productivo futuro^(43,44).

Cabe resaltar que el peso, la condición corporal (Cuadro 1) y la ganancia diaria de peso del nacimiento al servicio (Cuadro 2) fue similar entre las vaquillas de cada tratamiento estudiado. Es posible que la respuesta estral observada en el presente estudio y asociada al desarrollo corporal temprano se deba a efectos conocidos como programación del desarrollo. Este fenómeno se refiere a que el desempeño productivo de los animales puede ser programado durante la vida pre- y post- natal temprana debido a efectos ambientales que modulan la expresión de genes a través de marcas epigenéticas en la cromatina^(22,23,25). Efectos negativos de un subóptimo desarrollo corporal durante la vida temprana sobre el desempeño reproductivo de las vaquillas ha sido descrito previamente^(41,42). No obstante, el número de observaciones y la falta de consistencia en los resultados del presente estudio limita su interpretación. Estudios adicionales son requeridos para explorar estos posibles efectos en las vaquillas del sistema lechero de pequeña escala.

Conclusiones e implicaciones

En conclusión, las vaquillas del sistema lechero de pequeña escala presentan buena respuesta reproductiva a la sincronización de estros basada en prostaglandinas (cloprostenol). La inclusión de estradiol y progesterona al protocolo de sincronización hormonal con

prostaglandinas mejora la tasa de concepción, pero tiene un efecto mínimo en la distribución del inicio de la expresión de los estros después del tratamiento. Aunque se detectó una asociación entre el desarrollo corporal temprano de las vaquillas y su respuesta estral, no se observaron efectos concluyentes.

Agradecimientos

Estudio fue financiado con fondos fiscales asignados al proyecto SIGI 23335132549 titulado “Suplementación nutricional en periodos críticos de la crianza de becerras, para mejorar su desempeño productivo en sistemas familiares/semitecnificados de producción de leche” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés de tipo financiero o personal asociado a este estudio.

Literatura citada:

1. Chebel RC, Guagnini FS, Santos JEP, Fetrow JP, Limar JR. Sex-sorted semen for dairy heifers: effects on reproductive and lactational performances. *J Dairy Sci* 2010;93(6):2496-2507.
2. DeJarnette JM, McCleary CR, Leach MA, Moreno JF, Nebel RL, Marshall CE. Effects of 2.1 and 3.5 × 10⁶ sex-sorted sperm dosages on conception rates of Holstein cows and heifers. *J Dairy Sci* 2010;93(9):4079-4085.
3. Healy AA, House JK, Thomson PC. Artificial insemination field data on the use of sexed and conventional semen in nulliparous Holstein heifers. *J Dairy Sci* 2013;96(3):1905-1914.
4. Reith S, Hoy S. Review: behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal* 2018;12(2):398-407.
5. Roelofs J, López-Gatius F, Hunter RHF, van Eerdenburg FJC, Hanzen Ch. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 2010;74(3):327-344.
6. Williams J, Ntallaris T, Routly JE, Jones DN, Cameron J, Holman-Coates A, Smith RF, Humblot P, Dobson H. Association of production diseases with motor activity-sensing devices and milk progesterone concentrations in dairy cows. *Theriogenology* 2018;118:57-62.

7. Holman A, Thompson J, Routly JE, Cameron J, Jones DN, Grove-White D, Smith RF, Dobson H. Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *Vet Rec* 2011;169(2):47.
8. Sahu SK, Parkinson TJ, Laven RA. Conception rates to fixed-time artificial insemination of two oestrus synchronization programmes in dairy heifers. *NZ Vet J* 2015;63(3):158-161.
9. Stevenson JS. Synchronization and artificial insemination strategies in dairy herds. *Vet Clin: Food Anim Pract* 2016;32(2):349-364.
10. Häubi SCU, Gutiérrez LJJ. Evaluación de unidades familiares de producción lechera en Aguascalientes: estrategias para incrementar su producción y rentabilidad. *Avances en Investigación Agropecuaria* 2015;19(2):7-34.
11. Mariscal-Aguayo V, Pacheco-Cervantes A, Estrella-Quintero H, Huerta-Bravo M, Rangel-Santos R, Núñez-Domínguez R. Indicadores reproductivos de vacas lecheras en agroempresas con diferente nivel tecnológico en Los Altos de Jalisco. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 2016;13(3):493-507.
12. Estrada CE, Espinosa MMA, Barretero HR, Rodríguez HE, Escobar RMC. Manejo del ganado bovino adulto en establos familiares/semitecnificados de producción de leche. Folleto para productores Núm. 1. INIFAP - Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 2014.
13. Macmillan KL, Henderson HV. Analysis of the variation in the interval from an injection of PGF_{2a} to oestrus as a method of studying patterns of follicle development during dioestrus in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 1984;6(4):245-254.
14. Lucy MC, McDougall S, Nation DP. The use of hormonal treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Anim Reprod Sci* 2004;82-83:495-512.
15. Stevenson JS. Impact of reproductive technologies on dairy food production in the dairy industry. GC Lamb, N DiLorenzo editors. *Current and future reproductive technologies and world food production, Advances in experimental medicine and biology*. Springer Science Business Media New York. 2014.
16. Bo GA, Adams GP, Pierson RA, Mapletoft RJ. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theriogenology* 1995;43(1):31-40.
17. Wiltbank MC, Sartori R, Herlihy MM, Vasconcelos JL, Nascimento AB, Souza AH, Ayres H, Cunha AP, Keskin A, Guenther JN, Gumen A. Managing the dominant follicle in lactating dairy cows. *Theriogenology* 2011;76(9):1568-82.

18. Monteiro Jr PLJ, Borsato M, Silva FLM, Prata AB, Wiltbank MC, Sartori R. Increasing estradiol benzoate, pretreatment with gonadotropin-releasing hormone, and impediments for successful estradiol-based fixed-time artificial insemination protocols in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2015;98(6):3826–3839.
19. Colazo MG, Mapletoft J. A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *Can Vet J* 2014;55(8):772-780.
20. Chuck GM, Mansell PD, Stevenson MA, Izzo MM. Early-life events associated with first-lactation performance in pasture-based dairy herds. *J Dairy Sci* 2018;101(4):3488-3500.
21. Gelsinger SL, Heinrichs AJ, Jones CM. A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition and growth on first-lactation performance. *J Dairy Sci* 2016;99(8):6206-6214.
22. Laporta J, Ferreira FC, Ouellet V, Dado-Senn B, Almeida AK, De Vries A, Dahl GE. Late-gestation heat stress impairs daughter and granddaughter lifetime performance. *J Dairy Sci* 2020;103(8):7555-7568.
23. Estrada-Cortés E, Ortiz W, Rabagliano MB, Block J, Rae O, Jannaman EA, Xiao Y, Hansen PJ. Choline acts during preimplantation development of the bovine embryo to program postnatal growth and alter muscle DNA methylation. *FASEB J* 2021;35(10):e21926.
24. Barker DJ, Thornburg KL. The obstetric origins of health for a lifetime. *Clin Obstet Gynecol* 2013;56(3):511-519.
25. Gardner DS, Ozanne SE, Sinclair KD. Effect of the early-life nutritional environment on fecundity and fertility of mammals. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009;364(1534):3419–3427.
26. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. *Altos Sur Diagnóstico de la Región*. Gobierno de Jalisco. 2019.
27. Montiel-Olguín LJ, Estrada-Cortés E, Espinosa-Martínez MA, Mellado BM, Hernández-Vélez JO, Martínez-Trejo G, *et al*. Risk factors associated with reproductive performance in small-scale dairy farms in México. *Trop Anim Health Prod* 2019;51(1):229-236.
28. Espinosa MMA, Estrada CE, Barretero HR, Rodríguez HE, Escobar RMC. *Crianza de becerras para sistemas familiares/semitecnificados de producción de leche*. Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México. Folleto para productores. INIFAP. 2014.

29. Bruinje TC, Rosadiuk JP, Mosiemipur F, Sauerwein H, Steele MA, Ambrose DJ. Differing planes of pre- and postweaning phase nutrition in Holstein heifers: II. Effects of circulating leptin, luteinizing hormone, and age at puberty. *J Dairy Sci* 2021;104(1):1153-1163.
30. Edmonson AJ, Lean J, Weaver LF, Farver T, Webster G. A body condition scoring chart for Holstein Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1989;72(1):68-78.
31. Martínez MF, Kastelic JP, Adams GP, Janzen E, McCartney DH, Mapletoft RJ. Estrus synchronization and pregnancy rates in beef cattle given CIDR-B, prostaglandin and estradiol, or GnRH. *Can Vet J* 2000;41(10):786-790.
32. Martínez MF, Kastelic JP, Mapletoft RJ. The use of estradiol and/or GnRH in a two-dose PGF protocol for breeding management of beef heifers. *Theriogenology* 2004;62(1-2):363-372.
33. SAS Institute. 2011. Statistical Analysis Software SAS/STAT. Base SAS 9.3. Procedures Guide Statistical Procedures. Cary, N.C., USA:SAS Institute Inc., ISBN: 978-1-60764-896-3.
34. McDougall S, Rhodes FM, Compton CWR. Evaluation of three synchrony programs for pasture-based dairy heifers. *Theriogenology* 2013;79(5):882-889.
35. Waldmann A, Kurykin J, Jaakma Ü, Kaart T, Aidnik M, Jalakas M, Majas L, Padrik P. The effects of ovarian function on estrus synchronization with PGF in dairy cows. *Theriogenology* 2006;66(5):1364-1374.
36. Wiltbank M, Lopez H, Sartori R, Sangsritavong S, Gümen A. Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Theriogenology* 2006;65(1):17-29.
37. Brickell JS, Bourne N, McGowan MM, Wathes DC. Effect of growth and development during the rearing period on the subsequent fertility of nulliparous Holstein-Friesian heifers. *Theriogenology* 2009;72(3):408-416.
38. Bormann JM, Totir LR, Kachman SD, Fernando RL, Wilson DE. Pregnancy rate and first-service conception rate in Angus heifers. *J Anim Sci* 2006;84(8):2022-2025.
39. Girard A, Dufort I, Douville G, Sirard MA. Global gene expression in granulosa cells of growing, plateau and atretic dominant follicles in cattle. *Reprod Biol Endocrinol* 2015;13:17.
40. Zielak-Steciwo AE, Evans AC. Genomic portrait of ovarian follicle growth regulation in cattle. *Reprod Biol* 2016;16(3):197-202.

41. Curtis G, McGregor-Argo C, Jones D, Grove-White D. The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle. *Plos One* 2018;13(2):e0191687.
42. Rincker LE, Vandehaar MJ, Wolf CA, Liesman JS, Chapin LT, Weber Nielsen MS. Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield and economics. *J Dairy Sci* 2011;94(7):3554-3567.
43. Svensson C, Liberg P. The effect of group size on health and growth rate of Swedish dairy calves housed in pens with automatic milk-feeders. *Prev Vet Med* 2006;73(1):43-53.
44. Lundborg GK, Oltenacu PA, Maizon DO, Svensson EC, Liberg PG. Dam-related effects on heart girth at birth, morbidity, and growth rate from birth to 90 days of age in Swedish dairy calves. *Prev Vet Med* 2003;60(2):175-90.