

MONITORES AUTOMÁTICOS DE ACTIVIDAD COMO ALTERNATIVA PARA EL MANEJO REPRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO

AUTOMATIC ACTIVITY MONITORS AS AN ALTERNATIVE FOR THE REPRODUCTIVE MANAGEMENT OF GRAZING DAIRY COWS

Efraín Quintero Chanis¹, Reynaldo Vargas^{2,3}, Alex Ríos-Moreno⁴ y Joseph Grajales-Cedeño^{*2,5}

¹Servicio de Reproducción Animal SRA, S.C., Chiriquí, Panamá.

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Chiriquí, Panamá.

³Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá- Senacyt. Panamá

⁴Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Protección Vegetal. Panamá

⁵Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil.

(reneejr@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1737-1521>;

reynaldo.vargas@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>;

alex.morenom@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-3117-9639>;

joseph.grajales@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>)

*Correo de Correspondencia: joseph.grajales@up.ac.pa

Recibido: 12/08/2022

Aceptado: 29/10/2022

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño reproductivo de vacas Holstein en pastoreo utilizando prostaglandina y monitores automáticos de actividad (PGF_{2α} + MAA) versus un protocolo de sincronización de ovulación con base a estradiol (E₂) y progesterona (P₄) para inseminación a tiempo fijo (IATF). El estudio se realizó en una finca lechera en Chiriquí, Panamá en 215 vacas Holstein con una media de 2,88 ± 2,13 lactancias y 119,15 ± 61,63 días posparto. Las vacas se dividieron aleatoriamente en dos grupos: 1) Grupo PGF_{2α} + MAA (n=104): aplicación de 2 mg IM de PGF_{2α}, con presencia de cuerpo lúteo (examinadas por ultrasonografía) seguido de estro por monitores automáticos de actividad (MAA, Silent Herdsman, Afimilk) y 2) grupo IATF (n = 111): uso de protocolo de sincronización de celo con aplicación de 2 mg de benzoato de estradiol y un implante de P₄ al D0, seguido de retiro de los implantes y administración de 2,0 mg de PGF_{2α}, 400 UI de gonadotropina coriónica equina y 0,5 mg de cipionato de estradiol en el D8. La IATF se realizó el D10 (48 horas después del retiro del implante) y el diagnóstico de gestación por ecografía al D30. No se encontraron diferencias significativas entre las tasas de concepción entre los grupos PGF_{2α}+MAA e IATF [(38% (39/104) vs 34% (38/111); p>0,05)]. Como el 28% (31/111) de las vacas en el grupo IATF estaban en anestro, la tasa de concepción en vacas con y sin cuerpo lúteo fue de 35% (28/80) y 32% (10/31), respectivamente (p>0,05). En conclusión, tanto el uso de PGF_{2α}+MAA como un protocolo con base a E₂ y P₄ para la IATF mostraron igual eficiencia para el manejo reproductivo de vacas lecheras en condiciones de pastoreo, pero sería importante evaluar si la combinación de estas herramientas podría mejorar la eficiencia reproductiva.

PALABRAS CLAVE: Bienestar animal, eficiencia reproductiva, tecnología de precisión, vacas lecheras.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the reproductive performance of grazing Holstein cows using prostaglandin and automatic activity monitors (PGF_{2α} + MAA) versus an ovulation synchronization protocol based on estradiol (E₂) and progesterone (P₄) for timed insemination. fixed (IATF). The study was conducted on a dairy farm in Chiriquí, Panama in 215 Holstein cows with a mean of 2.88 ± 2.13 lactations and 119.15 ± 61.63 days postpartum. The cows were randomly divided into two groups: 1) PGF_{2α} + MAA group (n=104): application of 2 mg IM of PGF_{2α}, with presence of corpus luteum (examined by ultrasonography) followed by estrus by automatic activity monitors (MAA, Silent Herdsman, Afimilk) and 2) FTAI group (n = 111): use of estrus synchronization protocol with application of 2 mg of estradiol benzoate and an implant from P₄ to D0, followed by removal of the implants and administration of 2 0.0 mg PGF_{2α}, 400 IU equine chorionic gonadotropin, and 0.5 mg estradiol cypionate on D8. FTAI was performed on D10 (48 hours after implant removal) and pregnancy diagnosis by ultrasound on D30. No significant differences were found in conception rates between the PGF_{2α}+MAA and FTAI groups [(38% (39/104) vs 34% (38/111); p>0.05)]. As 28% (31/111) of the cows in the FTAI group were anoestrus, the conception rate in cows with and without a corpus luteum was 35% (28/80) and 32% (10/31), respectively. (p>0.05). In conclusion, both the use of PGF_{2α}+MAA and a protocol based on E₂ and P₄ for FTAI showed equal efficiency for the reproductive management of dairy cows under grazing conditions, but it would be important to evaluate if the combination of these tools could improve the reproductive efficiency.

KEYWORDS: Animal welfare, reproductive efficiency, precision technology, dairy cows.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción láctea deben ser económicamente viables, ofrecer un producto de alta calidad, y sobre todo debe tener en cuenta a el bienestar de los animales, el medio ambiente y los consumidores, por lo que, la industria láctea ha experimentado profundo cambios en las últimas décadas. De hecho, en Europa, países como Canadá, Estados Unidos y recientemente algunos países de Latinoamérica, el uso del estradiol-17 β en programas de manejo reproductivo en el ganado bovino está prohibido (von Keyserlingk *et al.*, 2013). Al respecto existen cuestionamientos por parte de los consumidores sobre las intervenciones hormonales que se realizan a las vacas lecheras durante el manejo reproductivo (Grandin, 2014; Pieper *et al.*, 2016), lo que merece ser abordado desde una mejor perspectiva.

La detección de estro es una de las principales problemáticas del ganado lechero (Denis-Robichaud *et al.*, 2018; Stevenson & Britt, 2017). En función de esta limitante se han desarrollado protocolos hormonales para la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) empleando implantes de progesterona (P4) y estradiol (E2) al inicio y al final del protocolo para sincronizar la ovulación (Pursley *et al.*, 1995; Souza *et al.*, 2009; Baruselli *et al.*, 2012) y más recientemente el uso de tecnologías de precisión como los monitores automáticos de actividad (Lovendahl & Chagunda, 2010), o el uso de estos protocolos de sincronización combinados con el uso de monitores automáticos de actividad (Fricke *et al.*, 2014; Giordano *et al.*, 2015; 2016; Stevenson, 2016), con la finalidad de alcanzar el principal objetivo reproductivo, de preñar las vacas lo más rápido posible después del periodo de espera voluntaria para lograr un ciclo de alta fertilidad (Consentini *et al.*, 2021; Tschopp & Bó, 2022).

A pesar que existen múltiples programas de manejo reproductivo sistematizado para vacas lecheras, gran parte de los estudios utilizando tecnología de precisión se han llevado a cabo en condiciones de confinamiento, utilizando monitores automáticos de actividad para la detección de estro combinados con protocolos basados en GnRH y PGF_{2 α} (Ovsynch y sus derivados) para posterior IA a estro detectado o mediante IATF (Burnett *et al.*, 2017; Denis-Robichaud *et al.*, 2018; Giordano *et al.*, 2015; LeRoy *et al.*, 2018). Sin embargo, dado las condiciones de producción de Panamá, donde predominan las condiciones pastoriles, es necesario explorar el uso de monitores automáticos de actividad como herramienta para el manejo y gestión de los rebaños con respecto a los programas convencionales de IATF empleando estradiol y progesterona.

El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño reproductivo de vacas Holstein en condiciones de pastoreo utilizando prostaglandina acompañada de la detección de celos mediante monitores automáticos de actividad (PGF_{2 α} +MAA) versus un protocolo de sincronización de ovulación para inseminación a tiempo fijo (IATF) con base a estradiol y progesterona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en un establecimiento comercial en la cuenca lechera de Chiriquí, Panamá. Esta zona, se caracteriza por tener un clima templado y lluvioso, con temperaturas que

oscilan entre 13 – 30 °C, con una altitud de 1068 metros, humedad relativa anual de 80,3% y pluviosidad de 2000 mm anual (1000 – 3000 mm), (Hidromet, 2018). El estudio fue realizado durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2018.

Animales

Se utilizaron 215 vacas Holstein sanas al examen clínico con una media de $2,88 \pm 2,13$ lactancias, días posparto de $118,90 \pm 61,70$, condición corporal entre 2,5 – 3,5 (escala 1-5, Edmonson *et al.*, 1989) y producción de leche de 22,0 kg por vaca/día.

Cada vaca fue identificada con un código único de acuerdo con el programa nacional de trazabilidad bovina y equipadas con un collar (AFIMILK; Israel), el cual consta de sensores de rumia y actividad adosados a un tag, unidades de identificación y un software para el procesamiento de los registros electrónicos. Para el manejo y gestión del rebaño se utilizó el Software VAMPP bovino 3.0 en donde se registró la información de cada animal. Los datos individuales de las alarmas de estro se extrajeron del Software Silent Herdsman semanalmente. Las vacas se ordeñaron dos veces al día; el primer ordeño se realizó a las 04:00 h y el segundo a las 15:00 h. Al finalizar cada ordeño, las vacas fueron trasladadas hasta un potrero situado a una distancia aproximada de 850 m, donde permanecieron hasta el siguiente ordeño.

Las vacas se mantuvieron en un sistema de pastoreo rotacional con cerco eléctrico con periodos de ocupación de un día en cada potrero. Las pasturas consistieron en pasto estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) combinada con pasto Tanner (*Urochloa arrecta*; Figura 1), cuyo contenido bromatológico consistió en un 17,0% de materia seca (MS), 19,0% de proteína cruda (PC), 69,0% de fibra neutro detergente (FDN) y 0,51 Mcal/lb de energía neta de lactancia (ENL). Previo al ordeño los animales recibieron una ración compuesta por ensilaje de *Panicum maximum* cv. Mombasa (31,5% MS; 5,4% PC; FDN=68,1%; 0,91 Mcal/kg ENL), heno y agua *ad libitum*. Además, se complementó la dieta con 9,19 kg de concentrado entregado en la sala de ordeño, fraccionado en dos comidas para cumplir con los requerimientos de nutrientes para vacas lecheras en lactancia que producen en promedio 25,0 kg de leche con 3,5% de grasa según los requerimientos de la NRC (National Research Council, 2001). El concentrado al igual que el ensilaje se suministró según el nivel de producción y etapa de la lactancia en la que se encontraban las vacas.



Figura 1. Vacas Holstein en pastoreo equipadas con monitores automáticos de actividad (collares electrónicos, Silent Herdsman de Afimilk).

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los animales fueron distribuidos en dos grupos: **Grupo 1 (n=104)**: vacas $116,06 \pm 64,07$ días post parto y $3,08 \pm 2,28$ lactancias se les aplicó 2 ml de prostaglandina (Cloprostenol Sincrocio Ourofino-Brasil) acompañado de la detección de estro (DTC) a través monitores automáticos de actividad, el cual se les colocó 15 días antes para ajustarlo, según la actividad de cada animal (Figura 2). Las vacas tenían un cuerpo lúteo (CL) funcional presente a la evaluación por ultrasonografía. Se definió como “vaca en celo” a aquellas que el sistema electrónico detectó. La inseminación se realizó de acuerdo con el horario sugerido por el equipo (12 horas después de la alerta).

Grupo 2 (n=111): vacas con $121,63 \pm 59,54$ días post parto y $2,69 \pm 1,97$ días post parto, fueron sometidas a un protocolo de sincronización de estro, independientemente de la condición ovárica y posteriormente inseminadas a tiempo fijo (IATF). El protocolo de sincronización consistió en la administración de 2 mg de benzoato de estradiol (Sincrodiol®, Ourofino) y un dispositivo intravaginal de progesterona (CIDR 1,38 g, Zoetis) en el día 0. En el día 8 se retiraron los dispositivos intravaginales y se les administró 2,0 mg de clorprostenol (Sincrocio®, Ourofino, Brasil), 400 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG, Folligon, MSD) y 0,5 mg de cipionato de estradiol (Cipiosyn®, Syntex-Argentina). La IATF se realizó el D10 (48 horas después de la extracción del dispositivo; Figura 2). Todos los animales fueron sometidos a diagnóstico de gestación 30 días posteriores a la IATF, mediante ultrasonografía utilizando un equipo Chison Vet 600, provisto de un transductor lineal de 5 MHz. Los tratamientos inyectables se administraron por vía intramuscular (i.m) profunda con agujas de 18 x 1½ y jeringas con volumen adecuado según tratamiento.

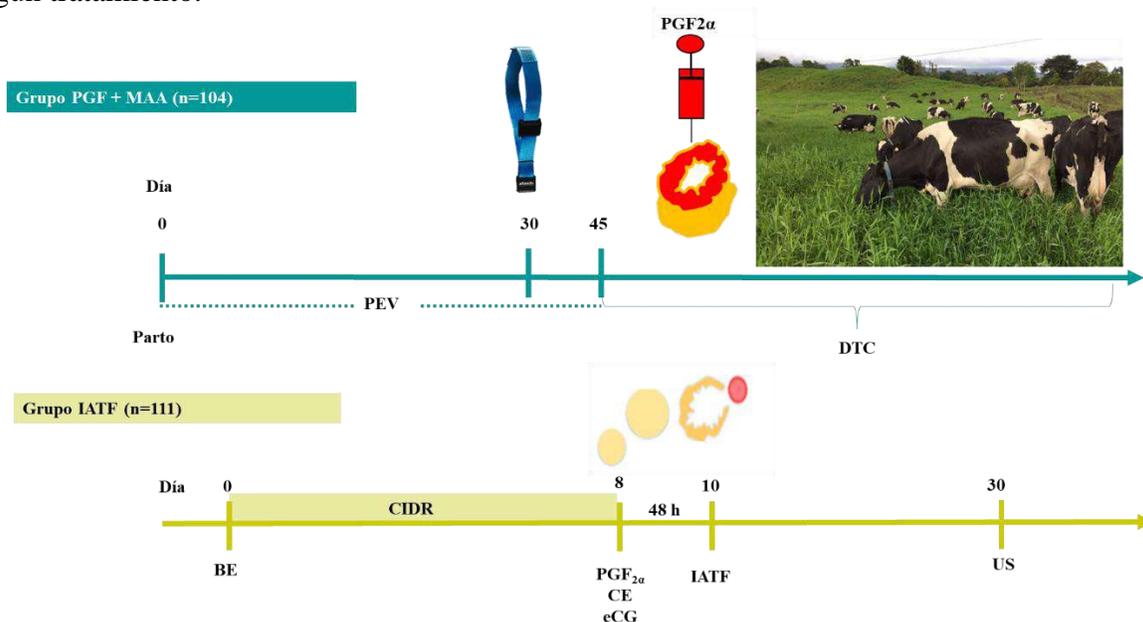


Figura 2. Detección de estro asociado a la aplicación de $PGF_{2\alpha}$ utilizando monitores automáticos de actividad (Silent Herdsman, Afimilk) para la detección de estro (A) y un protocolo de sincronización de estro empelando dispositivos intravaginales de progesterona (CIDR) y estradiol para posterior IATF. *Periodo de espera voluntario (PVE), Detección de estro (DTC), benzoato de estradiol (BE), Gonadotropina coriónica equina (eCG), cipionato de estradiol (CE), Prostaglandina ($PGF_{2\alpha}$), inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

Análisis estadístico

Los datos se ingresaron en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft Excel 2022) para su procesamiento y el análisis estadístico se realizó utilizando R 4.1.3 (2022-03-10). Los resultados se expresaron mediante gráficos utilizando GraphPad Prism V.9.0.2 (San Diego, CA, EE. UU.). Se utilizó el procedimiento Mixed General Linear Models lme4 (Bates et al., 2021), familia de distribución binomial y función con enlace “log” para evaluar la tasa de concepción, utilizando un análisis para la familia de datos binarios (0=vacía, 1= preñada).

Se utilizaron efectos fijos (programa de manejo reproductivo, lactancia, días postparto, toro) y las vacas como efecto aleatorio. Para seleccionar el mejor ajuste de los modelos se empleó el criterio de información de Akaike (AIC; 'AIC{stats}') y Schwarz Bayesian (BIC; 'BIC {stats}'). En el modelo final el efecto de las lactancias y días post parto fueron removidas. Se realizó la prueba de Tukey. Los valores se expresan como medias de mínimos cuadrados (LSM) \pm errores estándar de la media (SEM) y mediante Odds ratios (OR). Además, se utilizó la prueba de chi cuadrado (χ^2) para determinar las diferencias entre proporciones cuando fue necesario. Fueron consideradas diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$.

Para evaluar la tasa de concepción se utilizó el siguiente modelo: $Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + C_k + vaca_i + e_{ij}$
 Donde: Y_{ij} = Tasa de Concepción; μ = Media; A_i = Programa de manejo reproductivo; B_j = Número de lactancias; B_k = multíparas y primíparas), C_k = efecto del toro + $vaca_j$ = Efecto aleatorio de la vaca; e_{ij} = Error residual aleatorio.

RESULTADOS

Los programas de manejo reproductivo no afectaron de forma significativa la tasa de concepción (OR = 1,10; IC 95% = 0,62 – 1,96). Hubo un efecto de los toros sobre la tasa de concepción (Tabla 1). Siendo que las vacas inseminadas con el toro D presentaron 2,49 (IC 95%; 1,06 – 5,84) más probabilidad de quedar gestantes que aquellas vacas inseminadas con el toro A y las vacas inseminadas con semen del toro B mostraron 1,98 (IC 95%; 0,98 – 4,02) más probabilidad de quedar gestantes que aquellas vacas inseminadas con el toro considerado como referencia.

Tabla 1. Efecto del programa de manejo reproductivo, lactancia y toro sobre la tasa de concepción (TC, %) en vacas Holstein.

Efectos fijos		N	TC %	OR	IC 95%	p-valor
Intercepto		215		0,36	0,21 – 0,61	<0,001
Programa	IATF	38/111	34	Ref	Ref	Ref
	PGF _{2α} +MAA	39/104	38	1,09	0,61 – 1,92	0,77
	A	24/89	27	Ref	Ref	Ref
Toro	B	25/60	42	1,93	0,97 – 3,88	0,063
	C	13/35	37	1,60	0,70 – 3,66	0,270
	D	15/31	48	2,50	1,07 – 5,86	0,035

OR = Odds ratio; IC = Intervalo de confianza al 95%

Se excluyó un toro por desigualdad en el número de vacas inseminadas según programa de manejo reproductivo. Solo el toro A presentó mayor tasa de concepción en las vacas tratadas con PGF_{2α}+MAA con respecto a las que recibieron IATF (p=0,02). En los demás toros la fertilidad fue similar entre ambos programas de manejo reproductivo (p>0,05; Figura 3).

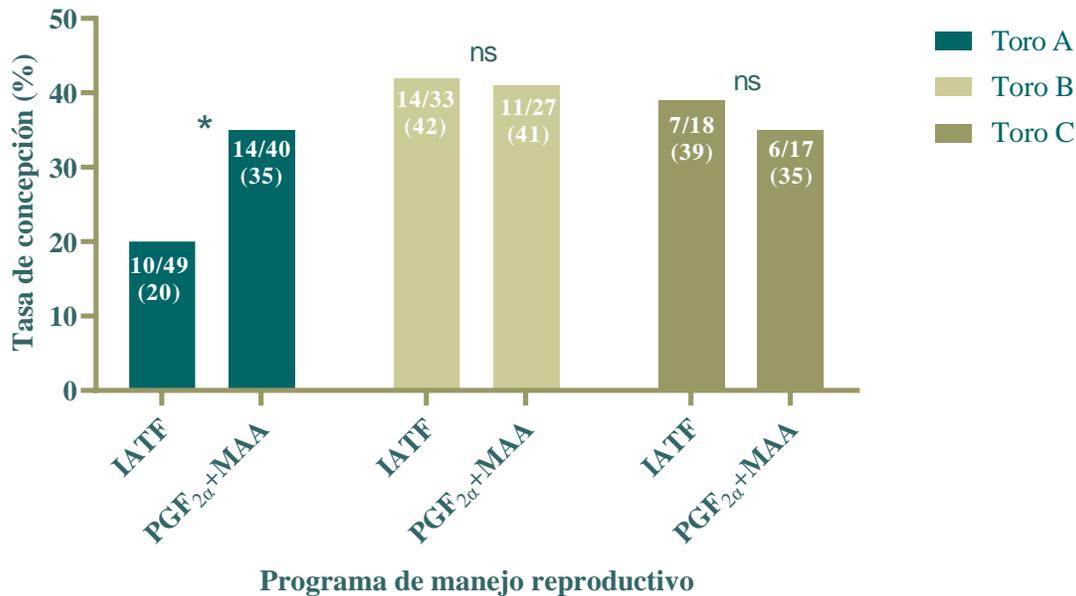


Figura 3. Tasa de concepción en vacas Holstein según programa de manejo reproductivo y toro empleado en la inseminación (n = 184). *p<0,05; ns p>0,05

El 28% (31/111) de las vacas tratadas con el protocolo en base a E₂ + P₄ para la IATF se encontraban en condiciones anovulatorias. En ese contexto la tasa de concepción para las vacas con y sin CL fue de 35% (28/80) y 32% (10/31) respectivamente ($\chi^2 = 0,20$; p>0,05; Figura 4).

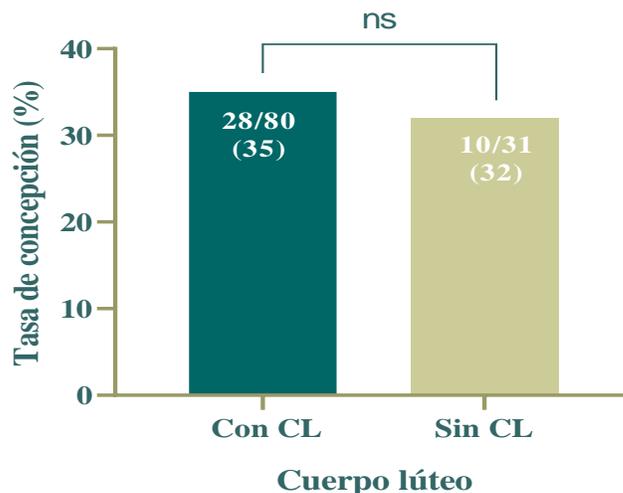


Figura 4. Tasa de concepción en vacas Holstein en lactancia que recibieron un protocolo de sincronización de estro con base a E₂ y P₄ para la IATF en función del estado ovárico (n = 111).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la tasa de concepción para ambos programas de manejo reproductivo fue similar, siendo a penas una diferencia numérica de cuatro puntos porcentuales a favor del programa de manejo reproductivo basado en $\text{PGF}_{2\alpha}$ más detección de estro mediante monitores automáticos con relación al uso de dispositivos de progesterona y estradiol para la IATF. Sin embargo, este estudio demuestra que hay un grupo de vacas donde es necesario el uso estratégico y sistemático de la IATF; tal es el caso, de las vacas en condiciones anovulatorias (28%). Estos resultados se ajustan dentro del abordaje recientemente sobre el manejo reproductivo direccionado en diferentes subgrupos de vacas en función de parámetros de comportamiento, fisiológicos y desempeño monitoreado a través de sensores. Este abordaje es conocido también como gestión de precisión o personalizada (Giordano *et al.*, 2022; Berry *et al.*, 2016; Zolini *et al.*, 2019).

Nuestros resultados están en línea con un estudio de Burnett *et al.* (2017) donde la tasa de concepción no difirió según el tratamiento utilizado (30,8% vs 33,5% para estro detectado mediante monitores de actividad y un protocolo de IATF, respectivamente). También son cónsonos con lo reportado por Stevenson *et al.* (2014) señalando que el riesgo de concepción en la IA no fue diferente entre los programas de manejo reproductivo (31% para las vacas equipadas con monitores de actividad vs 30% para la IATF). En general, ambos tratamientos ofrecieron resultados aceptables respecto a los parámetros reproductivos evaluados y son consistentes con estudios llevados a cabo en condiciones de confinamiento (Denis-Robichaud *et al.*, 2018; Dolecheck *et al.*, 2015; Fricke *et al.*, 2014) utilizando protocolos como el Ovsynch y sus derivados combinados con la detección de estro a través de monitores automáticos de actividad.

En cuanto a los resultados obtenidos con respecto a la TC del protocolo de sincronización en base a E_2 y P_4 , los informes de Melo *et al.* (2016) coinciden con nuestros hallazgos, reportando una TC de 35,1%. Resaltando que las altas concentraciones de P_4 durante el crecimiento del folículo ovulatorio son importantes para optimizar la calidad del ovocito (Wiltbank *et al.*, 2006).

La tasa de concepción fue similar en las vacas a las cuales se les realizó un manejo reproductivo empleando un protocolo de sincronización de estro en base a estradiol y progesterona de acuerdo con su estado ovárico. La proporción de vacas en anestro fue de un 28% y su fertilidad al realizar la IATF fue similar con respecto a las vacas con cuerpo lúteo. En condiciones normales, las vacas tienen el potencial de ovular después del parto (Wiltbank *et al.*, 2002), sin embargo, en las vacas de leche y sobre todo bajo condiciones de pastoreo en el trópico, con frecuencia presentan alta incidencia de anestro y ovulación silenciosa (De Rensis & Scaramuzzi, 2003), como consecuencia de esto se extiende el intervalo desde el parto hasta la concepción, afectando el desempeño reproductivo (Lucy *et al.*, 2004). El hecho de que tasa de concepción en vacas con y sin CL fue similar, corrobora la importancia de los protocolos en base a E_2 y P_4 para el manejo reproductivo sistematizado independientemente del estado ovárico (Monteiro *et al.*, 2015), debido a que la IATF puede inducir la ciclicidad de forma masiva, inclusive en vacas en anestro.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en cuanto al efecto del toro empleado en la IATF; independientemente del programa de manejo reproductivo utilizado. Los resultados concuerdan con los estudios efectuados por Sales *et al.* (2010, 2011); Silva *et al.* (2018), quienes han informado previamente una gran variabilidad en la fertilidad de toros en programas a

gran escala de IATF. Esta información es muy importante, debido a que posibilita la selección de toros con la mejor fertilidad.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que este tipo de tecnología ayuda a solventar el gran problema que afrontan los productores en la detección de estro y por ende a mejorar el desempeño reproductivo de las vacas; además ofrece la posibilidad de reducir el uso masivo de fármacos hormonales para el control del ciclo estral. Otra ventaja es que este tipo de equipos monitorean otros parámetros como la salud, comportamiento y cambios en la dieta. En estudios previos demostramos que, al emplear este tipo de tecnología de precisión, se redujo el intervalo entre partos de 423 a 399 días, resultando en un diferencial de 24 días; lo cual representaría 349.44 dólares/vaca/año y además una mejora en tasa de preñes cada 21 días de 14 para 19% (Quintero *et al.*, 2019), situación que incrementa el porcentual de vacas en un ciclo de alta fertilidad con gran impacto económico en las propiedades lecheras (Consentini *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

En conclusión, tanto el uso de prostaglandina asociado con la detección de estro mediante monitores automáticos de actividad, así como un protocolo con base a estradiol y progesterona para la IATF, mostraron igual eficiencia para el manejo reproductivo de vacas lecheras en condiciones de pastoreo, pero sería importante evaluar si la combinación de estas herramientas podría tener mayor impacto.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación de Panamá, Senacyt, Proyecto [FIE16-P-035], con colaboración con la empresa Zaroza Ganadera S.A. y Servicios de Reproducción Animal SRA.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Baruselli, P. S., Sales, J. N. S., Sala, R. V. Viera, L. M., & Sa Filho, M. F. (2012). History, evolution and perspectives of timed artificial insemination programs in Brazil. *Animal Reproduction*, 9, 139–152.
- Bates, Douglas, Martin Maechler, Ben Bolker, and Steven Walker. (2021). lme4: Linear Mixed-Effects Models Using Eigen and S4. <https://github.com/lme4/lme4/>.
- Berry, D. P., N. C. Friggens, M. Lucy, and J. R. Roche. (2016). Milk production and fertility in cattle. *Annual Review of Animal Biosciences* 4, 269–290.

- Burnett, T. A., Madureira, A. M. L., Silper, B. F., Fernandes, A. C. C. & Cerri R. L. A. (2017). Integrating an automated activity monitor into an artificial insemination program and the associated risk factors affecting reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*, 5005–5018.
- Cardoso Consentini, C. E., Wiltbank, M. C., & Sartori, R. (2021). Factors That Optimize Reproductive Efficiency in Dairy Herds with an Emphasis on Timed Artificial Insemination Programs. *Animals* *11*(2), 301.
- De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – a review. *Theriogenology* *60*, 1139–1151.
- Denis-Robichaud, J., Cerri, R. L. A., & Leblanc, S. J. (2018). Performance of automated activity monitoring systems used in combination with timed artificial insemination compared to timed artificial insemination only in early lactation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *101*, 624–636.
- Dirección de Hidroemeteorología de ETESA. (2018). Consultado el 29 de octubre de 2022. Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-satelitales>.
- Dolecheck, K. A., Silvia, W. J., Jr, G. H., Chang, Y. M., Ray, D. L., Stone, A. E., ... Bewley, J. M. (2015). Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. *Journal of Dairy Science*, *98*, 8723–8731.
- Edmonson, A. J., Lean I. J., Weaver L. D., Ferver T., & Webster G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *72*, 68-78.
- Fricke, P. M., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes, G. Amund- son, M. C., & Carvalho, P. D. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science*, *97*, 2771–2781.
- Giordano, J. O., Sitko, E. M., Rial, C., Pérez, M. M., & Granados, G. E. (2022). Symposium review: Use of multiple biological, management, and performance data for the design of targeted reproductive management strategies for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *105*(5), 4669–4678.
- Giordano, J. O., Thomas, M. J., Catucuamba, G., Curler, M. D., Masello, M., Stangaferro, M. L., & Wijma, R. (2016). Reproductive management strategies to improve the fertility of cows with a suboptimal response to resynchronization of ovulation. *Journal of Dairy Science*, *99*, 1-12.
- Giordano, J. O., Stangaferro, M. L., Wijma, R., Chandler, W. C., & Watters, R. D. (2015). Reproductive performance of dairy cows managed with a program aimed at increasing insemination of cows in estrus based on increased physical activity and fertility of timed artificial inseminations. *Journal of Dairy Science*, *98*, 2488–2501.

- Grandin, T. (2014). Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat science* 98, 461-469.
- LeRoy, C. N. S., Walton, J. S., & Leblanc, S. J. (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 1638–1647.
- Lovendahl, P., & Chagunda, M. G. (2010). On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 249-259.
- Lucy, M. C., McDougall, S., & Nation, D. P. (2004). The use of treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 495-512.
- Melo, L. F., Monteiro, P. L., Surjus, J. R. S., Drum, J. N., Wiltbank, M. C., & Sartori R. (2016). Progesterone-based fixed-time artificial insemination protocols for dairy cows: Gonadotropin-releasing hormone versus estradiol benzoate at initiation and estradiol cypionate versus estradiol benzoate at the end. *Journal of Dairy Science*, 99, 1–11.
- Monteiro, P. L. J. M., Borsato, M., Silva, F. L. M., Prata, A. B., Wiltbank, M. C., & Sartori, R. (2015). Increasing estradiol benzoate, pretreatment with gonadotropin-releasing hormone, and impediments for successful estradiol-based fixed-time artificial insemination protocols in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98, 3826–3839.
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. National. Academic Science., Washington, DC.
- Pieper, L., Doherr, M. G., & Heuwieser, W. (2016). Consumers' attitudes about milk quality and fertilization methods in dairy cows in Germany. *Journal of Dairy Science*, 99, 3162-3170.
- Pursley, J. R., Mee, M. O., & Wiltbank, M. C. (1995). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF_{2α} and GnRH. *Theriogenology*, 44(7), 915–923.
- Quintero, E. R., Grajales, J. K. Hernández, L. L., & Vargas R. E. (2019). Monitores automáticos de actividad y su impacto sobre la eficiencia reproductiva en vacas Holstein en lactancia bajo condiciones pastoriles. En: 13 Simposio Internacional de Reproducción Animal. M. Caccia. Ed. 1a edición especial. Córdoba, Argentina, 348-348.
- Sales, J. N., Neves, K. A. L., Souza, A. H., Crepaldi, G. A., Sala, R. V., Fosado, M., Campos Filho E. P., De Faria, M., Sá Filho M. F., & Baruselli P. S. (2011). Timing of insemination and fertility in dairy and beef cattle receiving timed artificial insemination using sex sorted semen. *Theriogenology*, 76, 427-435.
- Sales, J. N., Crepaldi, G. A., Fosado, M., Campos Filho E. P., & Baruselli P. S. (2010). Timing of insemination with sexed or nonsexed semen or pregnancy rates of Jersey heifers detected

- in heat by radiotelemetry. In: Annual Conference of the International Embryo Transfer Society. *Reproduction Fertility Development*, 22, 178-178.
- Souza, A. H., S. Viechnieski, F. A. Lima, F. F. Silva, R. Araujo, G. A. Bo, M. C. Wiltbank, & P. S. Baruselli. (2009). Effects of equine chorionic gonadotropin and type of ovulatory stimulus in a timedAI protocol on reproductive responses in dairy cows. *Theriogenology*, 72, 10–21.
- Stevenson, J. S., & Britt, J. H. (2017). A 100-Year Review: Practical female reproductive management. *Journal of Dairy Science*, 100, 10292–10313.
- Stevenson, J. S. (2016). Physiological predictors of ovulation and pregnancy risk in a fixed-time artificial insemination program. *Journal of Dairy Science*, 99, 10077–10092.
- Stevenson, J. S., Hill, S. L., Nevel, R. L., & DeJarnette, J. M. (2014). Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows *Journal of Dairy Science*, 97, 4296–4308.
- Tschopp, J. C., & Bó, G. A. (2022). Success of artificial insemination based on expression of estrus and the addition of GnRH to an estradiol/progesterone-based protocol on pregnancy rates in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 238, 106954.
- Von Keyserlingk, M. A., Martin, N. P., Kebreab, E., Knowlton, K. F., Grant, R. J. Stephenson, M., Sniffen, C. J., Harner, J. P., Wright, A. D., & Smith, S. I. (2013). Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 96, 5405-5425.
- Wiltbank, M., López, H., Sartori, R., Sangsritavong, S., & Gümen, A. (2006). Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Theriogenology*, 65, 17–29.
- Wiltbank, M.C., Gümen, A., & Sartori, R. (2002). Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. *Theriogenology*, 57, 21–52.
- Zolini, A. M., Ortiz, G. W., Estrada-Cortes, E., Ortega, M. S., Dikmen, S., Sosa, F., Giordano, J. O., & Hansen, P, J. (2019). Interactions of human chorionic gonadotropin with genotype and parity on fertility responses of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (1), 846–856.