



Eficiencia de tres herramientas de detección de celo en vaquillonas Holando

Morales-Piñeyrúa, JT. 

¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Programa Producción de leche, Estación Experimental INIA La Estanzuela. Ruta 50 km 11, 39173, Colonia, Uruguay. Email: jmorales@inia.org.uy

Recibido: 2017-06-19 - Aceptado: 2018-09-12

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar la eficiencia de tres herramientas para la detección de celo en vaquillonas Holando. Treinta y cuatro vaquillonas Holando (sincronizadas en celo con dos dosis de Prostaglandina F_{2α}, administradas con un intervalo de 11 días) fueron evaluadas. Se registraron todos los comportamientos de celo (COMPORTAMIENTO) y el porcentaje de desgaste de las etiquetas detectoras de monta (PARCHE) tres veces al día, durante 30 minutos, por una semana. Simultáneamente, la actividad de los animales fue monitoreada a través de collares que miden actividad y rumia (COLLAR). Se extrajo una muestra de sangre de cada animal el día del celo y a los 10 días de detectado el mismo para determinación de la concentración de progesterona sérica (prueba de oro). Se calculó la sensibilidad, especificidad, exactitud, valor predictivo positivo y probabilidad de falsos positivos de las tres herramientas (COMPORTAMIENTO, PARCHE y COLLAR). Los tres métodos de detección de celo presentaron una sensibilidad similar a la prueba de oro (COMPORTAMIENTO = 96,6 %, COLLAR = 100 %, PARCHE = 83,3 %) pero la observación de comportamiento y los collares resultaron en mayor probabilidad de falsos positivos (COMPORTAMIENTO = 12,1 %, COLLAR = 12,5 %, PARCHE = 3,8 %). Cualquiera de las tres herramientas fue eficiente en detectar vaquillonas en celo.

Palabras clave: estro, comportamiento, bovinos de leche, reproducción

Efficiency of Three Tools for Detecting Heat in Holstein Heifers

Summary

The aim of this work was to determine the efficiency of three tools for heat detection in Holstein heifers. Thirty-four Holando heifers (synchronized in heat with two doses of Prostaglandin F_{2α}, administered with an interval of 11 days) were evaluated. All the estrus behaviors (BEHAVIOR) and the percentage of wear of the detector tags (PATCH) were recorded three times a day, for 30 minutes each, during a week. Simultaneously, the activity of the animals was monitored through necklaces that measure activity and rumination (COLLAR). A blood sample was taken from each animal on the day of the heat, and 10 days after, for the determination of serum progesterone concentration (gold standard). Sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value and probability of false positives of the three tools (BEHAVIOR, PATCH and COLLAR) were calculated. The three heat detection methods showed similar sensitivity (BEHAVIOR = 96.6%, COLLAR = 100%, PATCH = 83.3%) with respect to the gold standard, but the probability of false positives was greater for behavioral observation and neck collar than patch (BEHAVIOR = 12.1%, COLLAR = 12.5%, PATCH = 3.85%). The three tools were efficient in detecting heifers in heat.

Keywords: behavior, dairy cow, estrus, reproduction

Introducción

La eficiencia en la detección de celo sigue siendo una de las mayores limitantes para el éxito reproductivo en tambos⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. Los valores reportados demuestran que la mitad de los animales de un rodeo no son identificados en celo⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾. Una de las razones por la que se falla en detectar una vaca en celo es la disminución o falta de expresión de este, situación observada principalmente en las vacas Holando, altas productoras de leche⁽⁸⁾. Es amplia la literatura que describe el comportamiento de celo en vacas⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾, sin embargo, en vaquillonas son escasos los trabajos realizados. La mayor información proviene de animales bajo sistemas confinados de producción⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾. El único trabajo llevado a cabo en Uruguay y bajo un sistema de producción en pastoreo fue el realizado por Cavestany y otros⁽¹⁵⁾; en este trabajo se reporta que las vaquillonas presentaron menor duración, pero mayor intensidad de celo que las vacas en lactación, debido principalmente a una mayor cantidad de montas observadas en las primeras. El horario de mayor observación de montas también fue diferente entre vacas y vaquillonas; el porcentaje de vacas que demostraron celo durante el día fue de 52 %, siendo en las vaquillonas de 67 %⁽¹⁵⁾. La duración del celo fue de $9,9 \pm 1,8$ h, similar ($9,1 \pm 5,5$ h)⁽¹²⁾ o más largo que lo encontrado para sistemas confinados ($6,2 \pm 3,9$ h)⁽¹⁴⁾.

Históricamente las herramientas de detección de celo se han basado en el principal signo de una vaca en celo, el comportamiento de inmovilización a la monta. Sin embargo, se ha reportado que menos del 60 % de las vacas manifiestan dicho comportamiento⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾, mientras que casi un 40 % demuestran solo comportamientos secundarios (por ejemplo, intentar montar o montar, lamer y oler el área genital, apoyo del mentón)⁽¹⁰⁾. La tabla de comportamientos creada por van Eerdenburg, Loeffler y van Vliet⁽¹⁸⁾, donde se incluyen dichos comportamientos secundarios, es una herramienta válida para aumentar la eficiencia de detección de celo en los tambos⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾.

En los últimos años se han generado nuevas herramientas para la detección de celo⁽¹⁾, entre ellas se encuentran los medidores de actividad (podómetros, collares). Estos basan su funcionamiento en el aumento de la actividad del animal dado por todos los comportamientos desplegados durante el proestro y estro, y no solo en el comportamiento de inmovilización a la mon-

ta. Existen algunos estudios que evalúan estos medidores de actividad en vacas en lactación⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾ y en vaquillonas⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽²⁴⁾, reportando valores de sensibilidad que van del 32 al 100 %, según el tipo de medidor y el sistema de producción (pastoril o estabulado). Si bien es cierto que la detección de celo es menos problemática en vaquillonas que en vacas, las vaquillonas demuestran mayor actividad en proestro que en estro comparadas con las vacas⁽¹⁵⁾, por lo tanto, los resultados encontrados en cuanto eficiencia de los medidores de actividad podrían diferir entre categorías.

Actualmente existen tres tipos de dispositivos medidores de actividad⁽²⁵⁾: 1) podómetros ubicados en un miembro posterior, que registran el número de pasos realizados por la vaca por unidad de tiempo; 2) medidores de actividad ubicados alrededor del cuello, que registran los movimientos de la cabeza y del cuello en las tres dimensiones a través de un sensor (acelerómetro 3D); 3) acelerómetro 3D unido a un miembro, que evalúa el número de pasos y el tiempo en que los animales están descansando o de pie. En el segundo grupo tenemos el Heatime (HR®). Este equipo monitorea en forma continua la actividad de la vaca y sus niveles de rumia a través de collares que poseen un acelerómetro y un micrófono. Los datos son enviados vía infrarrojo a una caja de control donde se puede observar toda la información del animal. Cuando hay un aumento de la actividad por encima de la línea base del animal (desviaciones estándar definidas previamente por el usuario) el sistema alerta que la vaca está en celo. En Uruguay, el único trabajo que evalúa este equipo fue el realizado por Facultad de Veterinaria (Universidad de la República, Uruguay), con vacas en lactación, reportando una sensibilidad del aparato de 83 % en relación con la detección visual de celo⁽²⁷⁾ y 88,6 %⁽²⁶⁾ si se utiliza progesterona (P_4) en leche como prueba de oro. La especificidad fue de 99 %⁽²⁷⁾ y la exactitud de 83,8 %⁽²⁶⁾, respectivamente.

Dado que no existen trabajos que hayan evaluado la eficiencia del uso de la tabla de comportamientos de celo de van Eerdenburg, Loeffler y van Vliet⁽¹⁸⁾, etiquetas detectoras de monta (parches) y collares al mismo tiempo en vaquillonas, el objetivo de este trabajo fue determinar la eficiencia en la detección de celo de tres herramientas en vaquillonas Holando en un sistema de alimentación basado en ración totalmente mezclada (RTM) y con acceso a pastura.

Materiales y métodos

Animales y determinaciones

Se evaluaron 34 vaquillonas Holando de la Estación Experimental de INIA La Estanzuela (Colonia, Uruguay), en un diseño descriptivo transversal comparativo. Los animales estuvieron bajo un mismo manejo desde los 150 días de vida y hasta el comienzo de período de inseminación (promedio al comienzo del estudio, $15,7 \pm 0,5$ meses de vida y $371,1 \pm 25,4$ kg de peso vivo). Los animales se mantuvieron juntos durante todo el período evaluado, en un corral con 175 m^2 por animal. Una vez al día (9:00 h) se les ofreció 6,6 kg de materia seca (MS) por vaquillona de una RTM compuesta por silo de trigo, silo de maíz, maíz molido, urea y ración comercial. Las vaquillonas tenían acceso permanente a sombra artificial ($30 \times 4,5 \text{ m}$) y a una pastura compuesta por *Medicago sativa*, *Trifolium repens* y *Festuca arundinacea*, la cual fue ofrecida diariamente a razón 5,6 kg MS/animal.

El trabajo se llevó a cabo en los meses de junio-julio del 2015. El celo de las vaquillonas fue sincronizado con dos dosis intramusculares de 2 mL de Prostaglandina F₂α

sintética (PGF₂α) (Delprostenate 400 mg, Glandinex, Universal Lab) administradas con un intervalo de 11 días. Luego de la segunda dosis de PGF₂α, y por una semana, se registraron los comportamientos de celo (Cuadro 1) previamente descriptos por Cavestany y otros⁽¹⁵⁾ a través de observaciones directas. Las observaciones fueron realizadas tanto en la zona de administración de RTM como en la pastura, tres veces al día (8, 14 y 18 h) por 30 minutos, a una distancia de 3 a 8 m, por dos observadores previamente entrenados. Cada comportamiento se asoció a un puntaje (Cuadro 1); después de cada sesión de 30 minutos el total de puntos fue calculado para cada vaquillona. Un puntaje total ≥ 50 durante una sesión de observación o por períodos consecutivos indicaba un animal en celo⁽¹⁸⁾.

Se colocaron parches en la zona del nacimiento de la cola a todos los animales. Dichas etiquetas poseen en su parte superior coloración gris que, debido a la presión constante sobre ella cuando la hembra es montada, se desgasta mostrando el color fluorescente que se encuentra en una segunda capa. Diariamente, desde la segunda aplicación de PGF₂α y hasta la inseminación, se evaluó

Cuadro 1. Descripción y sistema de puntos para los comportamientos de celo.

Comportamientos	Descripción	Puntos
Descarga vaginal mucosa	El animal presenta un flujo mucoso y transparente de la vulva	3
Flehmen	Una vaquillona exhibe la postura de flehmen, curva su labio superior hacia arriba, con cabeza sostenida hacia arriba	3
Inquietud (caminar)	La hembra camina constantemente, inquieta	4
Es montada pero no quieta	La vaquillona que es montada por atrás no permanece quieta, evitando la acción, moviéndose	10
Olfateo de vagina	La hembra olfatea la región ano-genital de otra	10
Apoyo de mentón	Una vaquillona apoya su mentón sobre la base de la cola de otra vaquillona. Puede estar parada o caminando.	15
Monta o intento de monta	Una vaquillona monta a otra desde atrás, pudiendo apoyar o no sus miembros anteriores sobre los flancos de la vaquillona que está debajo, con miembros posteriores apoyados en el suelo. La vaquillona debajo puede o no quedarse quieta	35
Monta por la cabeza	Una vaquillona monta a otra por la cabeza, la vaquillona de abajo puede o no quedarse quieta	45
Aceptación de monta (inmovilización)	La vaquillona que es montada por atrás permanece inmóvil	100

Modificado de Cavestany y otros⁽¹⁵⁾ y van Eerdenburg, Loeffler y van Vliet⁽¹⁸⁾.

tres veces al día el porcentaje de desgaste de los parches (25, 50, 75 o 100 %). Una vaquillona con un desgaste de 75 % o más fue definida como en celo.

Simultáneamente todos los animales fueron monitoreados a través del equipo medidor de actividad y rumia Heatime HR® (SCR H-Tag; SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). La cantidad e intensidad de los movimientos de cabeza y cuello fueron registradas en bloques de 2 horas, creándose un índice de actividad física general para cada vaca. Los collares fueron colocados 10 días antes del comienzo del trabajo para establecer la línea base de actividad para cada vaquillona, que fue utilizada como referencia por el equipo. El equipo calcula los cambios en el índice de actividad física general, los cuales toman valores de -100 a 100. Cuando un animal presenta un cambio de actividad mayor a 35 (umbral de celo con el que viene de fábrica el equipo) es incorporado a una lista de animales en celo (alarmas). La unidad de identificación que capta la información proveniente de los collares estaba ubicada en el corral donde se encontraban los animales. La información individual de cada vaquillona se almacena en una base de datos.

La intensidad y duración del celo fueron estudiadas como variables que caracterizaban el grado de expresión de celo. Se calculó la intensidad por actividad como el cambio máximo del índice de actividad física (valores entre 35 y 100). La duración de la actividad de celo se definió como el intervalo de tiempo, en horas, desde el aumento de actividad por encima del umbral hasta la disminución de la actividad por debajo del mismo. La intensidad del comportamiento de celo se definió como la cantidad de comportamiento de inmovilización/total de comportamientos observados (valores del 0 al 1).

Para determinar el momento de la inseminación se consideró la detección visual de los comportamientos de celo, y se utilizó la regla am-pm. Aquellas vaquillonas detectadas en celo a las 8 h fueron inseminadas a las 19 h del mismo día, y las vaquillonas observadas en celo a las 14 h o 18 h fueron inseminadas a las 6 h del día siguiente. A los 30 días posinseminación se realizó el diagnóstico de preñez con ultrasonido (IMAGO, ECM®, Angulema, Francia).

Se extrajo una muestra de sangre de cada animal el día del celo (día 0) y a los 10 días de detectado el mismo. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos y el suero almacenado inmediatamente a -20 °C hasta la realización de las determinaciones de progesterona (P_4) en el Laboratorio de Endocrinología y Metabolismo Animal, Facultad de Veterinaria, Montevideo, Uruguay.

Las concentraciones de P_4 se determinaron por un radio inmunoensayo en fase sólida usando kits MP (MP Biomedicals, Inc. Solon, OH, USA). La sensibilidad del ensayo fue de 0,054 ng/ml. Los coeficientes de variación intraensayo para el Control 1 (0,92 ng/ml) y el Control 2 (5,1 ng/ml) fueron 11,5 % y 9,3 %, respectivamente. Los coeficientes de variación interensayo de los controles fueron 14,2 % y 11,1 %, respectivamente. Se consideró un animal en celo cuando las concentraciones de progesterona del día 0 fueron menores o iguales a 1,0 ng/ml y las del día 10 fueron mayores a 3,0 ng/ml. A los animales en los que no se detectó celo por visualización de comportamiento se les realizó un muestreo de sangre el último día del período de observación.

Cálculo de las características operativas de las herramientas de detección de celo

Para la evaluación de las características operativas, sensibilidad (Se), especificidad (Esp), exactitud (Ex), valor predictivo positivo (VPP) y probabilidad de falsos positivos (Prob FP), de las tres herramientas de detección de celo se consideró como prueba de oro los datos de concentración de P_4 en suero. Las definiciones de verdadero positivo (VP), falso positivo (FP), falso negativo (FN) y verdadero negativo (VN) para las herramientas se muestran en el Cuadro 2. En el caso de la medición de actividad, se consideró para la definición de VP, FP, FN y VN el período entre 48 h antes y 24 h después del sangrado para P_4 ⁽²⁸⁾. En el Cuadro 3 se presentan los cálculos para las características evaluadas.

Análisis estadístico

Para todos los análisis estadísticos se utilizó el *software* estadístico SAS (versión 9.4; SAS Institute Inc., Cary, NC). Se realizó un análisis de asociación donde se calcularon las características operativas (Se, Esp, Ex, VPP y Prob FP) y sus correspondientes 95 % IC, contrastando los resultados con la prueba de oro a través del procedimiento PROC FREQ. Se analizaron las distribuciones de las variables intensidad y duración de la actividad de celo, e intensidad y puntaje total de los comportamientos, con el procedimiento PROC UNIVARIATE. Debido a que la intensidad y duración de la actividad medida por los collares y la intensidad del comportamiento de celo no presentaron una distribución normal, fueron descriptas como mediana \pm inter-

Cuadro 2. Definición de verdaderos positivos, falsos positivos, falsos negativos y verdaderos negativos para la detección de celo por visualización de comportamientos de celo, parche y medidor de actividad (collar).

	Comportamientos	Parche	Collar
Verdaderos positivos	Coincidencia de observación y P ⁴ positiva o diagnóstico de preñez positivo	Coincidencia con día y horario de la detección visual positiva	Alarma entre las 48 h antes y 24 h después de la inseminación de animales positivos por P ⁴ .
Falsos positivos	Detección de celo pero muestras de P ⁴ negativas	Detección de celo pero muestras de P ⁴ negativas	Alarma de celo entre las 48 h antes y 24 h después de la inseminación de animales negativos por P ⁴
Falsos negativos	El observador no registró al animal en celo pero las muestras de P ⁴ reflejaban celo	No se detectó celo pero las muestras de P ⁴ reflejaban celo	No hubo alarmas de celo pero las muestras de P ⁴ reflejaban celo
Verdaderos negativos	No se detectó celo y las muestras de P ⁴ demostraban que la vaquillona no estaba en celo	No se detectó celo y las muestras de P ⁴ demostraban que la vaquillona no estaba en celo	No hubo alarma de celo y las muestras de P ⁴ demostraban que la vaquillona no estaba en celo

Prueba de oro= progesterona en sangre (P⁴).

Cuadro 3. Tabla de contingencia 2X2 usada para los cálculos de los índices: sensibilidad (Se), especificidad (Esp), exactitud (Ex), valor predictivo positivo (VPP) y probabilidad de falso positivo (Prob FP).

Herramienta evaluada	Prueba de oro= progesterona en sangre		Índices
	Positivo	Negativo	
Positivo	Verdadero positivo (VP)	Falso positivo (FP)	VPP = VP/(VP+FP)*100 Prob FP = FP/ (VP+FP)*100
Negativo	Falso negativo (FN)	Verdadero negativo (VN)	
Índices	Se = VP/(VP+FN)*100	Esp = VN/(VN+FP)*100	Ex = (VP+VN)/(VP+FP+FN+VN)*100

valo intercuartílico. Los puntajes totales son presentados como media \pm DE. La correlación entre medidas de intensidad y duración entre collares y comportamiento se evaluó a través de PROC CORR, de esta manera los FP fueron excluidos del análisis. Para todos los análisis estadísticos se consideró significancia $p \leq 0,05$.

Resultados y discusión

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la observación de comportamiento, P₄ sérica y diagnóstico de preñez de las 34 vaquillonas. De los 34 animales, 33 fueron inseminados por observación de comportamiento,

obteniendo 21 vaquillonas preñadas en su primera inseminación (61 %).

En el Cuadro 5 se muestran los valores de Se, Ex, VPP y Prob FP para las distintas herramientas de detección de celo. Al ser la Esp la capacidad de una prueba de detectar VN, esta característica solo se pudo calcular de los resultados del parche, ya que para los comportamientos de celo y los collares no hubo VN. La Esp fue de 75,0 % (IC = 32 % - 100 %), y aunque no se asoció con la prueba de oro ($p = 0,16$) el indicador fue alto, ya que de cuatro vaquillonas que no estaban en celo el parche solo falló en detectar una. La falta de asociación con la prueba de oro pudo haber sido afectada por el bajo número de individuos.

Cuadro 4. Valores de progesterona en sangre, observación del comportamiento de celo y diagnóstico de preñez de 34 vaquillonas Holando.

Identificación de la vaquillona	Observación de celo por comportamiento	P ⁴ día 0 ^a	P ⁴ día 10 ^b	Resultados de diagnóstico de preñez
14006	no	0	4,4	preñada
14007	sí	0	3,85	preñada
14009	sí	0	4,62	preñada
14011	sí	0	6,45	preñada
14016	sí	0	5,85	preñada
14019	sí	0	8,78	preñada
14032	sí	0	5,3	preñada
14048	sí	0	7,15	preñada
14004	sí	0	5,77	preñada
14012	sí	0	4,84	vacía
14017	sí	0	4,95	vacía
14002	sí	0	4,13	vacía
14028	sí	0,09	8,93	preñada
14042	sí	0,32	11	preñada
14045	sí	0,33	7,2	vacía
14040	sí	0,39	8,31	preñada
14043	sí	0,39	5,87	preñada
14046	sí	0,41	3,77	vacía
14053	sí	0,47	6,26	preñada
14038	sí	0,48	8,05	preñada
14031	sí	0,48	13,6	vacía
14037	sí	0,51	5,94	preñada
14044	sí	0,51	5,44	preñada
14034	sí	0,61	8,62	vacía
14041	sí	0,69	7,27	preñada
14052	sí	0,86	8,77	vacía
14027	sí	0,87	7,04	preñada
14049	sí	0,99	7,15	preñada
14015	sí	1,28	2,78	vacía
14026	sí	1,43	8,87	vacía
14003	sí	1,66	0,32	vacía
14036	sí	2,79	8,65	preñada
14001	sí	3,59	14,5	vacía
14008	sí	4,17	0	preñada

^a P⁴ día 0= progesterona sérica del día de la inseminación

^b P⁴ día 10= progesterona sérica a los 10 días de la inseminación

Cuadro 5. Sensibilidad (Se), exactitud (Ex), valor predictivo positivo (VPP) y probabilidad de falsos positivo (Prob FP) de tres herramientas de detección de celo: visualización de comportamientos de celo, parche y medición de actividad (collar).

Índices (IC) ^a	Comportamiento	Parche	Collar
Se	96,6 % (90 % - 100 %)	83,3 % (70 % - 96 %)	100 % (100 % - 100 %)
Ex	85,2 % (73 % - 97 %)	82,3 % (69 % - 95 %)	87,5 % (76 % - 98 %)
VPP	87,8 % (76 % - 99 %)	96,1 % (88 % - 100 %)	87,5 % (76 % - 98 %)
Prob FP	12,1 % (1 % - 23 %)	3,85 % (0 % - 11 %)	12,5 % (1 % - 23 %)

^a IC: intervalo de confianza.

Las tres herramientas de detección de celo tuvieron una Se, Ex y VPP alta, siendo similar a la prueba de oro ($p < 0,001$). La Se depende de la cantidad de FN; como las herramientas presentaron pocos negativos (indicaron a casi todas las vaquillonas en celo) este valor resultó muy alto. La Se y VPP de los collares encontrados en este trabajo son mayores que las reportadas en otros estudios, tanto para vaquillonas (84,7 %)⁽¹³⁾ como para vacas (Se= 51,0 % a 94,1 %, VPP = 32,9 % a 75,8 % en confinamiento y pastura, respectivamente)⁽¹⁷⁾⁽²¹⁾⁽²⁹⁾. Este resultado podría deberse a las diferencias, entre estudios, de los valores umbrales de detección de celo de los collares; por ejemplo, el valor umbral utilizado en este trabajo fue más bajo que el utilizado en de la Rue y otros⁽²⁹⁾. Con respecto a los parches, Cavalieri y otros⁽³⁰⁾ encontraron un VPP (91,3 % en vacas sincronizadas) para pintura en la cola similar al encontrado en el presente experimento para los parches. Las dos herramientas funcionan de manera similar, por lo tanto, podrían compararse.

Si comparamos las herramientas, la detección de celo por comportamiento y los collares funcionaron de manera similar en todas las características operativas ($p < 0,001$), pero los valores de VPP en estos casos fueron diferentes a los del parche ($p < 0,50$). La detección de celo por comportamiento y por collar presentaron menores valores que el parche (Cuadro 5). Esto significa que el comportamiento y el collar tuvieron mayor proporción de FP. Una posible explicación para esto es la alta manifestación de celo debido a la sincronización⁽³¹⁾, sumado a una «imitación» de los comportamientos entre animales⁽¹¹⁾, lo que hace que se registren muchos comportamientos y que haya una alta actividad, resultando en una mayor cantidad de FP. Dado que los parches solo detectan inmo-

vilización a la monta y no detectan el resto de los comportamientos, los FP fueron inferiores. Otra posible explicación es el bajo valor umbral utilizado por estos collares. El valor umbral está correlacionado con la Se: al bajar el umbral aumenta la Se debido al aumento de los FP⁽²⁸⁾⁽³²⁾⁽³³⁾.

El pico de actividad medido por los collares fue de $92,7 \pm 10,8$ (56-100) y la duración de $21,3 \pm 6,5$ h (2-30 h). La hora de mayor intensidad de actividad fue entre las 8 y las 10 h. Para los comportamientos, la mediana del puntaje de todo el período de celo promedio fue $903,1 \pm 472,4$ (13-1898 puntos), y de la intensidad de $0,11 \pm 0,10$ (0-0,52). El 30 % (10/34) de las vaquillonas no demostraron inmovilización a la monta en los períodos observados. Estos valores de actividad fueron mayores a las medias reportadas para vacas ($71,6 \pm 20,7$)⁽³⁴⁾ y para vaquillonas ($77,3 \pm 19,5$)⁽¹³⁾. La diferencia podría estar dada por el tipo de alojamiento de los animales; en nuestro caso las vaquillonas tenían acceso a pastura pudiendo manifestar mayor actividad que los animales en sistemas estabulados. Palmer y otros⁽³⁵⁾ reportaron que vacas en sistemas estabulados manifiestan menos celo, detectado ya sea por visualización de comportamiento, marcado con pintura o por Heatwatch. La baja intensidad de los comportamientos de celo refleja que el comportamiento de inmovilización no fue muy común durante los períodos de observación definidos y esto se confirma con el porcentaje de animales que no se dejaron montar durante las observaciones de comportamiento. Estos resultados podrían estar influenciados, por un lado, por una mayor cantidad de comportamientos secundarios desplegados, ya que en vaquillonas los comportamientos secundarios son más comunes que los primarios⁽¹²⁾. Y, por otro lado, por el período de observación utilizado para este trabajo, resultando en una posible pérdida de celo en los horarios en que

no se observó a los animales. Se ha reportado que vaquillonas pueden demostrar comportamientos de celo durante horarios nocturnos (33 % del total de los comportamientos observados en 24 horas)⁽¹⁵⁾. Con respecto a la actividad, la hora de mayor actividad observada en nuestro estudio coincide con el trabajo realizado en vaquillonas mantenidas en sistemas confinados⁽¹²⁾.

La duración de la actividad de celo registrada por los collares se correlacionó positivamente con la intensidad de esta ($r = 0,45$; $p = 0,001$). La intensidad de actividad también tuvo una correlación positiva con la intensidad de comportamiento ($r = 0,38$, $p = 0,03$). La correlación entre intensidad y duración de actividad ya ha sido reportada para vacas⁽³⁶⁾. Un aumento en el número de comportamientos de celo está relacionado con mayor intensidad y duración de actividad⁽³⁶⁾, por lo tanto, era de esperar una relación entre intensidad de comportamiento y actividad como la observada en este trabajo.

Conclusiones

Tanto el uso de puntajes de los comportamientos de celo como la utilización de collares medidores de actividad y los parches permitieron altas tasas de detección de celo en vaquillonas Holando en un sistema de alimentación basado en RTM y acceso a pastura. La observación de celo tres veces al día por 30 minutos es una herramienta válida para detectar vaquillonas en celo solo si a la conducta de inmovilización a la monta se le agregan los comportamientos secundarios (tabla de puntaje). Las herramientas que solo detectan celo por la conducta de inmovilización a la monta, como ser los parches, pueden resultar en pérdidas de animales en celo.

Con base en las diferencias de detección de celo por actividad obtenidas en este experimento (vaquillonas en un sistema de alimentación con RTM y acceso a pastura) con aquellos de la literatura que evaluaron vaquillonas en sistemas confinados, podemos sugerir que el valor umbral de los equipos de actividad debería ajustarse para la categoría animal y sistema de producción donde se utilicen. Bajos umbrales en vaquillonas pueden resultar en un alto valor de falsos positivos.

Agradecimientos

La autora agradece a Bruno López, Marcelo Pla y José Peña por la colaboración en el trabajo de campo de este estudio.

Bibliografía

- 1) Mottram T. Animal board invited review: Precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*. 2016;10:1575-84.
- 2) Nebel RL, Jones CM, Roth Z. Reproduction, events and management | mating management: Detection of estrus. In: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH, editors. *Encyclopedia of Dairy Science*. 2nd ed. San Diego: Academic press; 2011. p. 461-6.
- 3) Roelofs J, López-Gatius F, Hunterd RHF, van Eerdenburg FJCM, Hanzen Ch. When is a cow in estrus?: Clinical and practical aspects. *Theriogenology*. 2010;74:327-44.
- 4) Capitaine Funes A. Factores que afectan la tasa de preñez en rodeos lecheros en Argentina. In: Vº Simposio Internacional de Reproducción Animal; 2003; Huerta Grande, Córdoba, Argentina. [place unknown]: IRAC; 2005. p. 179-96.
- 5) Cavestany D, Galina CS. Factors affecting the reproductive efficiency of artificial insemination programs in a seasonal breeding pasture-based dairy system with the aid of milk progesterone. *Reprod Domest Anim*. 2001;36:85-9.
- 6) Ferreira G. Reproductive performance of dairy farms in western Buenos Aires province, Argentina. *J Dairy Sci*. 2013;96:8075-80.
- 7) Washburn SP, Silvia WJ, Brown CH, McDaniel BT, McAllister AJ. Trends in reproductive performance in Southeastern Holstein and Jersey DHI Herds. *J Dairy Sci*. 2002;85:244-51.
- 8) Lopez H, Satter LD, Wiltbank MC. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim Reprod Sci*. 2004;81:209-23.
- 9) Galina CS, Orihuela A. The detection of estrus in cattle raised under tropical conditions: What we know and what we need to know. *Horm Behav*. 2007;52:32-8.
- 10) Sveberg G, Refsdal AO, Erhard HW, Kommisrud E, Aldrin M, Tvete IF, Buckley F, Waldmann AR, Ropstad E. Behavior of lactating Holstein-Friesian cows during spontaneous cycles of estrus. *J Dairy Sci*. 2011;94:1289-301.
- 11) Castellanos F, Galina CS, Orihuela JA, Navarro-Fierro R, Mondragh R. Estrous expression in dairy cows and heifers (*Bos taurus*) following repeated PGF injection and choice of selecting a mounting partner. *Appl Anim Behav Sci*. 1997;51:29-37.
- 12) Silper BF, Robles I, Madureira AML, Burnett TA. Automated and visual measurements of estrous behavior and their sources of variation in Holstein heifers. I: Walking activity and behavior frequency. *Theriogenology*. 2015;84:312-20.
- 13) Silper BF, Madureira AML, Kaur M, Burnett TA, Cerri RLA. Short communication: Comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. *J Dairy Sci*. 2015;98:1-8.
- 14) Yoshida C, Nakao T. Some characteristics of primary and secondary oestrous signs in high-producing dairy cows. *Reprod Domest Anim*. 2005;40:150-5.

- 15) Cavestany D, Fernandez M, Perez M, Tort G, Sanchez A, Sierra R. Oestrus behavior in heifers and lactating dairy cows under a pasture-based production system. *Vet Q.* 2008;30:10-36.
- 16) van Eerdenburg FJCM, Karthaus D, Taverne MAM, Mercis I, Szenci O. The relationship between estrous behavioral score and time of ovulation in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2002;85:1150-6.
- 17) Roelofs J, van Eerdenburg FJCM, Soedea NM, Kempa B. Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology.* 2005;63:1366-77.
- 18) van Eerdenburg FJCM, Loeffler HSH, van Vliet JH. Detection of oestrus in dairy cows: A new approach to an old problem. *Vet Q.* 1996;18:52-4.
- 19) Heres L, Dieleman SJ, van Eerdenburg FJCM. Validation of a new method of visual oestrus detection on the farm. *Vet Q.* 2000;22:50-5.
- 20) van Vliet JH, van Eerdenburg FJCM. Sexual activities and oestrus detection in lactating Holstein cows. *Appl Anim Behav Sci.* 1996;50:57-69.
- 21) Hockey CD, Morton JM, Norman ST, McGowan MR. Evaluation of a neck mounted 2-hourly activity meter system for detecting cows about to ovulate in two paddock-based Australian dairy herds. *Reprod Domest Anim.* 2010;45:107-17.
- 22) Ismael A, Strandberg E, Berglund B, Fogh A, Lovendahl P. Seasonality of fertility measured by physical activity traits in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2015;99:2837-48.
- 23) Reith S, Brandt H, Hoy S. Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livest Sci.* 2014;170:219-27.
- 24) Sakaguchi M, Fujiki R, Yabuuchi K, Takahashi Y, Aoki M. Reliability of estrous detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *J Reprod Develop.* 2007;53:819-28.
- 25) Saint-Dizier M, Chastant-Maillard S. Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reprod Domest Anim.* 2002;47:1056-61.
- 26) de Torres E, Pastorini M, Meikle A. Estudio de la sensibilidad y exactitud de la detección de celo del Equipamiento Heatime HR®: informe. Montevideo: Facultad de Veterinaria; 2013. 2 p.
- 27) de la Peña F, Ferreira J. Evaluación de diferentes métodos para la detección de celos en vacas lecheras collares electrónicos vs detección visual [Tesis de grado]. Montevideo (UY): Universidad de la República, Facultad de Agronomía; 2013.
- 28) Kamphuis C, de la Rue B, Burke CR, Jago J. Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *J Dairy Sci.* 2012;95:3045-56.
- 29) de la Rue BT, Kamphuis C, Burke CR, Jago JG. Using activity-based monitoring systems to detect dairy cows in oestrus: A field evaluation. *N Z Vet J.* 2014;62:7-62.
- 30) Cavalieri J, Flinker LR, Anderson GA, Macmillan KL. Characteristics of oestrus measured using visual observation and radiotelemetry. *Anim Reprod Sci.* 2003;76:1-12.
- 31) Orihuela A. Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: A review. *Appl Anim Behav Sci.* 2000;70:1-16.
- 32) Aungier SPM, Roche JF, Sheehy M, Crowe MA. Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *J Dairy Sci.* 2012;95:2452-66.
- 33) Talukder S, Kerrisk KL, Gabai G, Fukutomi A, Celi P. Changes in milk oxidative stress biomarkers in lactating dairy cows with ovulatory and an-ovulatory oestrous cycles. *Anim Reprod Sci.* 2015;158:86-95.
- 34) Madureira AM, Silper BF, Burnett TA, Polsky L, Cruppe LH, Veira DM, Vasconcelos JL, Cerri RL. Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 2015;98:7003-14.
- 35) Palmer A, Olmos G, Boyle LA, Mee JF. A comparison of the estrous behavior of Holstein-Friesian cows when cubicle-housed and at pasture. *Theriogenology.* 2011;77:382-8.
- 36) Aungier SPM, Roche JF, Duffy P, Scully S, Crowe MA. The relationship between activity clusters detected by an automatic activity monitor and endocrine changes during the peri-estrus period in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 2015;98:1666-84.