

ORDEÑO ROBÓTICO EN LA ARGENTINA: PERSPECTIVAS EN SISTEMAS DE BASE PASTORIL

Luis Orlando Millapán^{1*}; José Luis Rossi¹; Juan Pablo Etchart¹; Miguel Ángel Taverna²; Pablo Ariel Cipriotti³

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Animal, Cátedra de Producción Lechera

²EEA INTA Rafaela, Santa Fe

³ Universidad de Buenos Aires/CONICET, Facultad de Agronomía-IFEVA, Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información

*E-mail: millapan@agro.uba.ar

Recibido: 15/12/2022

Aceptado: 15/05/2023

RESUMEN

Hace tres décadas se realizó por primera vez el ordeño de vacas lecheras mediante robots en un tambo comercial de Países Bajos. Esta tecnología se difundió en distintos países, principalmente en tambos confinados (sin pastoreo directo), y, más recientemente, en tambos de base pastoril. En la Argentina, el primer robot ordeñador data de 2015 y actualmente su adopción es creciente. Una de las dificultades en tambos de base pastoril es optimizar el tráfico de vacas hacia el robot. Los objetivos de este artículo fueron describir los robots ordeñadores y su funcionamiento, analizar aspectos relevantes para los sistemas de base pastoril (relativos principalmente al comportamiento y circulación de las vacas) y señalar los requisitos para la adopción exitosa de robots en la Argentina. Uno de los aspectos analizados es el manejo de los sectores de alimentación ya que impactan positivamente en el desempeño productivo y el tráfico de vacas. El comportamiento social y las interacciones entre animales parecieran adquirir importancia creciente en estos sistemas. El manejo de las relaciones entre individuos dominantes y subordinados resultaría clave para mejorar el tráfico voluntario y la eficiencia en el uso del robot. Los requisitos para la adopción exitosa de los robots radican en la asimilación de conceptos asociados a la respuesta individual de una vaca y al efecto del comportamiento sobre el movimiento de las vacas entre las áreas de alimentación y el robot. Asimismo, la capacitación de los operarios es necesaria para que la adopción de los robots en sistemas de base pastoril sea exitosa.

Palabras clave: movimiento voluntario, producción de leche, robot ordeñador, sistema de base pastoril, tráfico animal.

ROBOTIC MILKING IN ARGENTINA: PERSPECTIVES IN PASTURE-BASED DAIRY SYSTEMS

ABSTRACT

Robotic milking was used for the first time in a commercial dairy farm in the Netherlands three decades ago. This technology has spread in different countries, mainly for confined dairy farms (without direct grazing), while its use in pasture-based dairy systems is recent. In Argentina, the first milking robot began to work in mid-2015, and it is currently in growing. One of the difficulties in pasture-based systems is to optimize the traffic of cows towards the milking robot. The objectives of this article were to describe milking robots and their operation, to analyse the relevant aspects for pasture-based systems (mainly on aspects related to the behaviour and circulation of cows through the productive system), and to point out the requirements for the successful adoption of robots in Argentina. One of the relevant aspects analysed is the management of the feed sectors since they have a positive impact on productive performance and cow traffic. Social behaviour and interactions between individuals in the herd seem to acquire increasing relevance in pasture-based dairy systems. Managing relationships between dominant and subordinate individuals may be key to improve voluntary traffic and efficiency in the use of the robot. The requirements that pasture-based dairy systems present for a milking robot adoption lie in the assimilation of concepts associated with the individual response of a cow and the effect of behaviour on the movement of cows between feeding areas and the milking robot. Likewise, staff training is necessary for the adoption of robots in pasture-based dairy systems to be successful.

Key words: voluntary movement, milk production, milking robot, pasture-based system, animal traffic.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, los tambos son predominantemente de base pastoril, aunque la cantidad de tambos confinados (sin acceso directo al pastoreo) aumentó en los últimos años (Gastaldi *et al.*, 2015; Engler *et al.*, 2022). Esta tendencia al confinamiento se observa también en otros países con tradición lechera pastoril y se asocia con la creciente intensificación de los sistemas dedicados a la lechería. Este proceso de intensificación puede ser definido como el aumento en la producción de leche en relación a los factores de producción disponibles (tierra, capital o mano de obra). A nivel global la intensificación ha sido posible, en parte, debido a la adopción de tecnologías que facilitan el proceso productivo (Clay *et al.*, 2020). Por otro lado, las mejoras en los sistemas de ordeño impactaron positivamente en la producción de leche y su calidad (El-Osta y Morehart, 2000).

El primer robot ordeñador en un tambo comercial fue instalado en Países Bajos en 1992. Desde entonces esta tecnología se difundió en gran parte de Europa y posteriormente en Estados Unidos, mayoritariamente en tambos confinados. La introducción de esta tecnología en los tambos de base pastoril es más reciente. Por ejemplo, el primer robot en pastoreo se instaló en el año 2002 en el marco del Proyecto Greenfield (Jago y Burke, 2010) en Nueva Zelanda, y pocos años después en Australia en el marco del Proyecto Future Dairy (García *et al.*, 2007). En la Argentina, el primer robot se instaló en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA Rafaela a mediados de 2015 (Taverna *et al.*, 2016) en un sistema de base pastoril. A partir de ese momento se incorporaron robots tanto en sistemas de base pastoril como en sistemas confinados de las diferentes cuencas lecheras. Se estima que en la actualidad en la Argentina hay en funcionamiento alrededor de 125 robots, los cuales están distribuidos en cinco provincias: Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Salta (relevamiento de publicaciones locales y páginas web, *i.e.* *Revista Infortambo*; páginas web Agrofyt, Dairylando, TodoAgro, entre otras). Los robots vendidos ascenderían a alrededor de 300 (distribuidos en poco más de 50 tambos). La adopción de robots ha ganado aceptación debido a que es una forma de flexibilizar el trabajo en el tambo (fundamentalmente la tarea de ordeño), aumentar la producción de leche por vaca, y mejorar la calidad de vida de productores y operarios (Rodenburg, 2017).

En los tambos convencionales (*i.e.* con ordeño mecanizado) confinados, los animales están expuestos a cierto control del ambiente. Por el contrario, en sistemas de

base pastoril, las vacas se encuentran a la intemperie y sufren condiciones de lluvia y barro y/o calor excesivo, según la época del año, que pueden afectar el desempeño productivo y estado sanitario. En los tambos robóticos de base pastoril un desafío adicional es que la circulación de animales por los diferentes sectores del tambo (*i.e.* el tráfico voluntario) debe ser óptima para lograr un uso eficiente del robot ordeñador, evitando situaciones productivas indeseadas (*i.e.* acumulación de vacas en el corral de espera y/o tiempo ocioso del robot).

Este trabajo se focaliza en los tambos robóticos de base pastoril, principalmente en aspectos relativos al comportamiento de las vacas y la circulación de estas por el sistema. Para profundizar la lectura de otros aspectos del ordeño robótico se pueden consultar otras publicaciones. Por ejemplo, si bien existe una extensa revisión sobre el comportamiento, la salud y el bienestar animal en sistemas robóticos, la misma se ha focalizado mayoritariamente en animales en confinamiento (Jacobs y Siegford, 2012). Estos autores mencionan algunos aspectos de interés para los sistemas robóticos de base pastoril, pero su trabajo ha quedado desactualizado en relación a los recientes hallazgos que hacen al funcionamiento específico de estos sistemas. La revisión realizada por John *et al.* (2016) analiza los tambos robóticos pastoriles y confinados desde el punto de vista de la utilización del robot, pero no profundiza en aspectos novedosos para el manejo de los sistemas de base pastoril. Algo similar ocurre con la revisión realizada por Simões Filho *et al.* (2020) que se concentra en la evolución de aspectos tecnológicos de los robots ordeñadores, así como en sus ventajas y desventajas. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron (i) describir las principales características de los robots ordeñadores, (ii) explicar los principios de funcionamiento de los tambos con ordeño robótico, (iii) describir y analizar los aspectos más relevantes para los sistemas robóticos de base pastoril, y (iv) señalar los requisitos para la adopción exitosa de robots en el país.

Principales características de los robots ordeñadores

La principal característica de un robot ordeñador es que el ordeño es automático, voluntario y distribuido en forma continua a lo largo del día (24 h). El ordeño es automático porque lo realiza un brazo robótico, que no solamente ordeña, sino que además realiza todos los pasos habituales de una rutina de ordeño convencional (*i.e.* limpieza de pezones, despunte, desinfección preordeño y

postordeño) (Figura 1). Es voluntario, porque los animales acceden por sí solos al robot, con mínima intervención de los operarios en caso de ser necesario. Además, el ordeño es distribuido en el tiempo ya que los animales se ordeñan tanto de día como de noche. Estas características marcan diferencias importantes con el ordeño en tambos convencionales, donde los animales son arreados y ordeñados por operarios (tamberos) que deciden a dónde debe dirigirse el rodeo. Para realizar el ordeño se utiliza equipamiento específico para extraer la leche de los animales en horarios fijos, generalmente dos veces por día. Otra diferencia es que el robot funciona como un sistema de información que registra datos tanto de la producción del animal y el consumo de concentrado, como de la circulación de los animales a través de los diferentes sectores del tambo.

En los tambos robóticos, los animales llevan collares electrónicos (Figura 2c) que permiten la identificación y



Figura 1. Vista posterior de un robot ordeñador. El modelo de brete simple posee un único brazo robótico el cual, a través de sensores, identifica a cada pezón de la ubre y realiza sobre los mismos todos los pasos de la rutina que habitualmente se hacen en un ordeño convencional.

acceso al robot ordeñador. Cercano al robot se ubican las tranqueras inteligentes (Figura 2b) que, utilizando los mismos collares, permiten o no el acceso a los distintos sectores de las instalaciones. Respecto a su capacidad de uso, los robots tienen el potencial de realizar entre 150-180 ordeños diarios, lo cual se puede lograr ordeñando unas 60-80 vacas con dos a tres ordeños por vaca y por día. En líneas generales, en los tambos confinados es posible lograr mayores frecuencias de ordeño que en los tambos de base pastoril (2,64 y 1,68 ordeños día⁻¹, respectivamente) (Lyons *et al.*, 2014). El robot funciona las 24 horas, pero habitualmente se destinan 60 a 120 minutos por día para los lavados automáticos de restos de leche. El modelo de robot ordeñador más difundido comercialmente es el de brete simple ("simple box"), donde las vacas se ordeñan de a una por vez (Figuras 1 y 2a). Existen otros diseños de robots menos difundidos como los sistemas rotativos donde de tres a cinco brazos robóticos pueden ordeñar varias vacas simultáneamente. Dado que los robots de brete simple son modulares, cada tambo puede incorporar varios robots y tranqueras inteligentes, según el diseño de tambo elegido.

Principios de funcionamiento de los tambos con ordeño robótico

Un cambio conceptual en los tambos robóticos, respecto a los tambos convencionales, radica en el movimiento voluntario de los animales. Esto implica que los animales pueden circular por los diferentes sectores en forma autónoma, ya sea en grupos pequeños o individualmente, y ya no en grandes grupos guiados por el



Figura 2. Robot ordeñador en vista frontal (a), con una vaca en ordeño y otras dos que esperan para poder ingresar. Las tranqueras inteligentes (b) poseen antenas y sensores que facilitan el movimiento voluntario de los animales por los diferentes sectores. Las tranqueras y el robot identifican a los animales mediante collares electrónicos (c). En el corral de espera o área de preordeño (d), los animales pueden disponer de media sombra, bebederos, y cepillos rascadores que contribuyen al confort animal.

tamboro (Figura 3). El movimiento voluntario es posible debido al manejo de los incentivos que estimulan y regulan el flujo de los animales por el sistema de producción y su paso por el robot ordeñador. Los incentivos más habituales son los alimentos (cantidad de pastura, cantidad y ubicación del alimento balanceado y dietas parcialmente mezclada o PMR, por sus siglas en inglés). En menor medida se han estudiado otros incentivos como la ubicación de bebederos, uso de media sombra, suplementación pre o post ordeño u horarios de acceso a las parcelas (Millapán *et al.*, 2018). El suministro de alimento balanceado puede realizarse en el brete de ordeño, lo cual es un atractivo para ingresar, y también en comederos automáticos distribuidos en las instalaciones, que estimulan la circulación y contribuyen a mejorar el tráfico de vacas por el sistema. La oferta diaria de alimento balanceado se puede programar a nivel individual mediante el uso de un software que divide el suministro de alimento entre las diferentes sesiones de ordeño de ese animal (Lyons *et al.*, 2014) (Figura 3c).

La frecuencia de ordeño de los animales está regulada por los permisos de ordeño, es decir, el otorgamiento (o no) de acceso al corral de espera para luego poder ingresar al robot ordeñador. Estas regulaciones están basadas en el tiempo mínimo transcurrido entre un ordeño y el siguiente, y/o el nivel productivo esperado. Por ejemplo, el permiso de ordeño puede otorgarse a una vaca si pasaron al menos 4 h desde su último ordeño, o si la vaca alcanzó un nivel de producción esperado para ese animal, por ejemplo 8 l ordeño⁻¹. Si pasó menos tiempo o la producción fue menor que lo indicado entonces el software le niega el permiso de ordeño y deriva al animal hacia otro sector. Estos permisos de

ordeño pueden variar según el momento de lactancia (días en lactancia) y el número de partos (primíparas, multíparas) de cada vaca en ordeño.

Los robots ordeñadores permiten la detección temprana de mastitis, la principal enfermedad de los tambos a nivel global (Ruegg *et al.*, 2017). Esto es posible dado que en el momento del ordeño el robot analiza varios parámetros (conductividad eléctrica, presencia de sangre, intervalo entre ordeños, flujo de la leche) para determinar el riesgo de contraer mastitis en alguno de los cuartos. De esta manera, el usuario puede visualizar en la pantalla de la computadora una alerta sobre cuáles son los individuos que podrían presentar mastitis y, por lo tanto, decidir el mejor plan de acción. Es probable que esta detección temprana y precisa de mastitis lleve a un menor uso de antibióticos en los tambos, lo que se espera tenga un impacto positivo sobre un problema global de la producción animal, como la generación de resistencia antimicrobiana (Mulchandani *et al.*, 2023).

El robot ordeñador cuenta con un software que registra información productiva, sanitaria y de circulación de los animales por los diferentes sectores del tambo, que constituye un sistema de gestión de la información. Habitualmente el operario recibe un informe de los indicadores generados automáticamente por el software en la computadora y/o en su teléfono celular, lo cual le permite tomar decisiones y responder rápidamente ante problemas. El software genera, además, una serie de notificaciones sobre el funcionamiento del robot que el operario puede ver directamente en su teléfono celular. Algunos de estos avisos son simples reportes de rutina mientras que otros pueden ser "alarmas". Estas últimas



Figura 3. Sectores de las instalaciones por las cuales los animales pueden circular durante las 24 horas: (a) comedero donde se suministra la ración mezclada, y (b) parcelas de pastoreo en general a base de alfalfa, y en menor medida verdes de invierno y de verano. Los animales pueden consumir alimento balanceado en un comedero individual automático (c) y agua en bebederos (d) ubicados cerca del robot ordeñador.

indican fallas de funcionamiento en algún componente del robot o retrasos en la circulación de algunos animales por el sistema. Aquellos animales que permanecen un tiempo excesivo en alguno de los sectores del tambo, y no son estimulados a moverse entre sectores, generan un problema al tráfico voluntario que requiere ser atendido. Por lo general estas alarmas pueden ser resueltas en forma remota, con lo cual no es necesario que el operario se encuentre en el tambo.

Los robots ordeñadores se complementan con otras tecnologías que ayudan a detectar potenciales problemas de salud en etapas tempranas. Tal es el caso de los collares de rumia que generan notificaciones o alarmas en la computadora o teléfono celular de los operarios cuando la actividad de rumia cae por debajo de un valor umbral (Stangaferro *et al.*, 2016). Esto es posible dado que las variaciones en el nivel de la rumia están asociadas a la aparición de enfermedades metabólico-nutricionales (Calamari *et al.*, 2014). Otro caso es el de los collares para el monitoreo del estrés calórico, los cuales informan anticipadamente cuándo un animal se encuentra afectado por las altas temperaturas (Davison *et al.*, 2020). En el caso de los collares o caravanas que miden actividad se facilita la detección de celo y, por lo tanto, contribuyen a mejorar la eficiencia reproductiva (Kamphuis *et al.*, 2012). Todas estas tecnologías tienen como objetivo final contribuir a mejorar la salud y el bienestar de los animales.

Aspectos relevantes para los tambos robóticos de base pastoril

La investigación en sistemas robóticos de base pastoril se ha focalizado en optimizar el tráfico voluntario de los animales por el sistema. Uno de los aspectos importantes a resolver son las situaciones en las que algunos individuos presentan largos intervalos entre ordeños sucesivos (*i.e.* mayor a 16 h), los cuales tienen un impacto negativo sobre la producción de leche (Schmidt, 1960; Delamaire y Guinard-Flament, 2006) y sobre la salud de la ubre (Hammer *et al.*, 2012). Usualmente, los animales con largos intervalos entre ordeños sucesivos suelen quedar rezagados respecto al rodeo principal en el sector de pastoreo u otros sectores del tambo. Si finalmente estos animales no se dirigen voluntariamente al robot para ordeñarse, los operarios deben buscarlos y acercarlos al sector de ordeño. Estos casos deberían ser poco frecuentes y representar no más del 5% del total del rodeo (Jago y Woolford, 2002).

La mayor parte de las investigaciones en sistemas

robóticos de base pastoril se realizaron en Australia. En algunos trabajos se evaluó el uso estratégico de suplemento pre vs post ordeño en el corral de espera. Cuando el suplemento se suministró a las vacas luego del ordeño, éstas pasaron menos tiempo en el corral de espera y aumentó la producción de leche (Lyons *et al.*, 2013a; Scott *et al.*, 2015). Cuando se suministraron concentrados durante el ordeño se estimuló el tráfico voluntario hacia el robot sin afectar la producción de leche (Scott *et al.*, 2014), mientras que en otros experimentos la asignación de diferentes recursos forrajeros como soja para pastoreo (*Glycine max* (L.) Merr) o kiku-yo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex. Chiov) no impactó sobre el tráfico voluntario ni sobre la producción de leche (Clark *et al.*, 2014; Scott *et al.*, 2016). Por otra parte, en un experimento realizado en Irlanda se evaluaron variaciones en los permisos de ordeño, lo cual afectó el tiempo que las vacas pasaban en el corral de espera, aunque esto no modificó la producción de leche (Foley *et al.*, 2015). En uno de los estudios realizados en Australia se demostró que la incorporación de una tercera parcela al manejo diario del pastoreo en sistemas con dos parcelas diarias permitía reducir los largos intervalos entre ordeños sucesivos en un 31%, aumentar la frecuencia de ordeño en un 40% y la producción de leche, en un 20% (Lyons *et al.*, 2013b).

Tomando como referencia el trabajo de Lyons *et al.* (2013b) un tambo robótico de base pastoril podría diseñarse con tres sectores de alimentación o bloques de pastoreo (Figura 4). Los bloques de pastoreo, denominados 1, 2 y 3, están compuestos por potreros limitados por alambrados fijos que a su vez se subdividen en parcelas más pequeñas, las cuales el operario puede manejar con alambres eléctricos en forma diaria. Los recursos forrajeros dentro de cada bloque de pastoreo pueden ser similares o diferentes, y el tamaño de las parcelas dependerá, en gran medida, de la cantidad de vacas, y de la relación entre la biomasa forrajera disponible y la asignación forrajera calculada para cada animal. El objetivo de este diseño es que todas las vacas circulen una vez entre las parcelas de pastoreo en un período de 24 h, lo cual puede hacerse en intervalos regulares (*i.e.* cada 8 h) o irregulares. El flujo de los animales entre las parcelas y sectores del tambo se realiza en forma voluntaria y está regulado por las tranqueras inteligentes; por lo tanto, hay animales que llegan antes que otros a los diferentes sectores de alimentación. Si bien lo más habitual es que los tres bloques sean de pastoreo (1, 2 y 3; Figura 4), el diseño puede combinar dos bloques de

pastoreo y un sector de alimentación donde se suministra una dieta parcialmente mezclada (PMR). Estos últimos sistemas son denominados mixtos o híbridos. En Australia, algunos productores utilizan un sistema de cuatro parcelas diarias con resultados auspiciosos. Esta opción de manejo aún no ha sido evaluada experimentalmente.

Los períodos de acceso activo se refieren a aquellos durante los cuales los animales pueden ingresar a la

parcela a pastorear, y si prefieren pueden salir y volver a ingresar (*i.e.* salen para ir a tomar agua u ordeñarse y regresar a la parcela) (Figura 5). En cambio, durante el período de acceso residual los animales que están en la parcela pueden salir, pero ya no pueden volver a ingresar a la parcela (*i.e.* van a ordeñarse al robot y luego del ordeño la tranquera inteligente las deriva hacia otro sector del tambo) (Figura 5). En ocasiones, las vacas no se

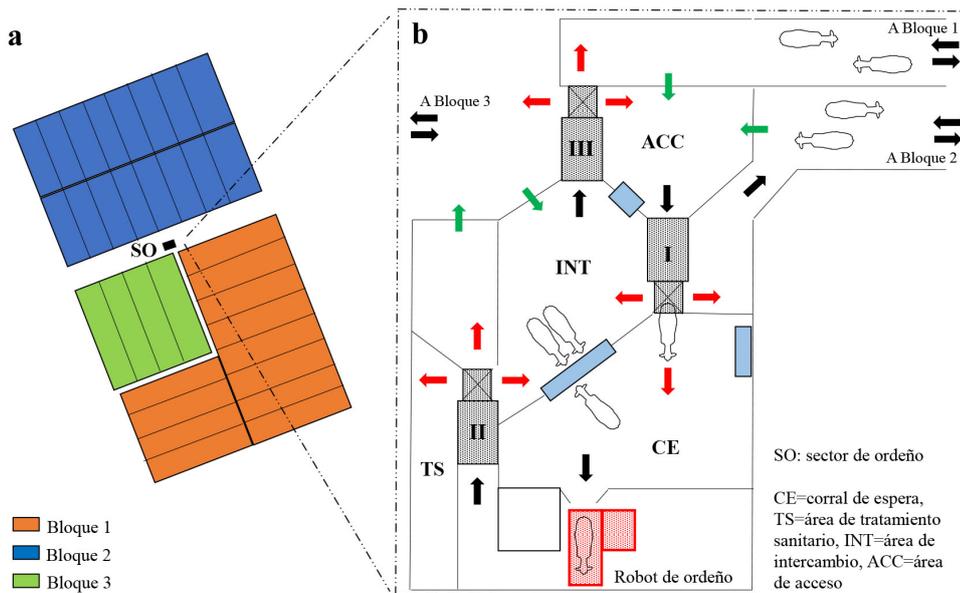


Figura 4. Esquema general de un tambo robótico de base pastoril. (a) Vista general del tambo dividido en tres bloques de pastoreo (1, 2 y 3). La ubicación del sector de ordeño (SO) se identifica con el recuadro negro. Cada bloque (1, 2 y 3) está subdividido, a su vez, en potreros y parcelas. (b) Detalle del sector de ordeño del tambo robótico con piso de cemento. Se pueden observar las tres tranqueras inteligentes (áreas grises con números romanos I, II y III), los bebederos (áreas celestes) y el robot ordeñador (área roja). Se indica el sentido de circulación de los animales (flechas negras) y las opciones de movimiento al pasar por las tranqueras inteligentes I, II o III (flechas rojas). Se indica también el ingreso a los sectores por tranqueras de un único sentido (flechas verdes) a donde los animales pueden ingresar, pero no salir por la misma tranquera. CE=corral de espera, TS=área de tratamiento sanitario, INT=área de intercambio, ACC=área de acceso.

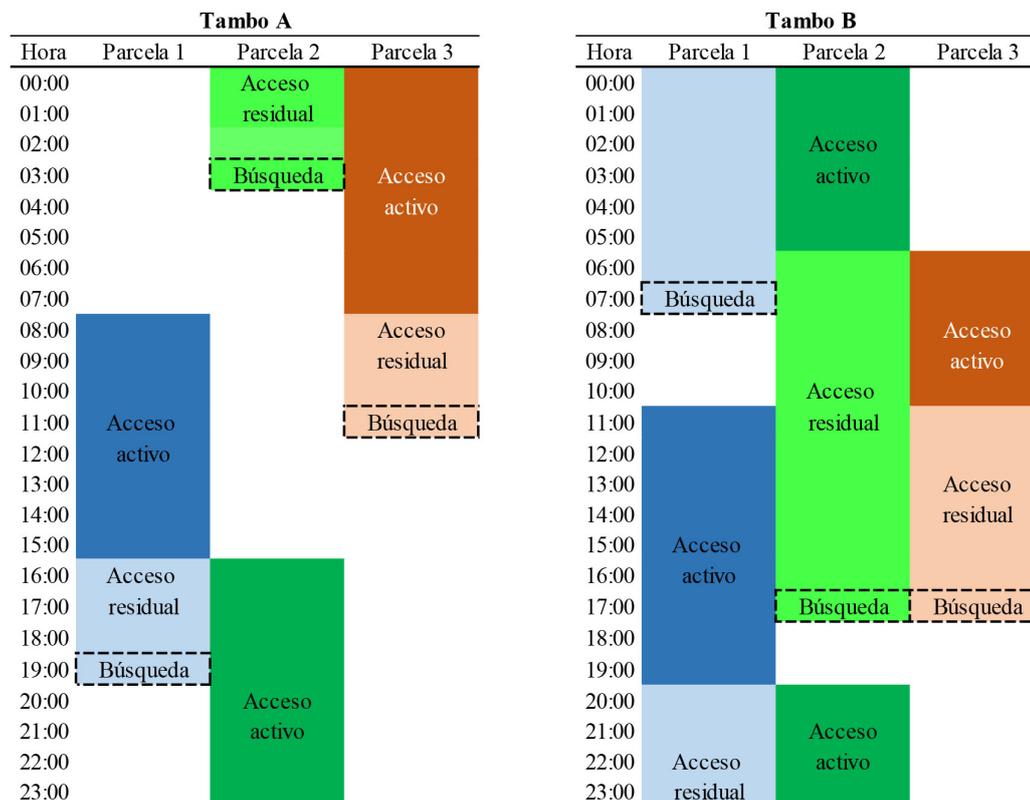


Figura 5. Período de acceso activo y acceso residual para dos tambos supuestos (Tambo A y Tambo B). Se muestran tres parcelas de pastoreo, identificadas por distintos colores. El período de acceso residual comienza cuando finaliza el período de acceso activo, y finaliza cuando el operario busca a las vacas rezagadas de la parcela. Diferentes duraciones de los períodos de acceso activo y residual son posibles debido a variaciones en las asignaciones de pastura, según la estrategia productiva elegida por el productor. Adaptado de John (2013).

mueven necesariamente de una parcela a otra dentro de estos períodos. Por lo tanto, es posible que una vaca se quede en una determinada parcela por muchas horas (*i.e.* 12-14 h) luego que el período de acceso activo haya finalizado, esto requiere que el operario vaya hasta la parcela a buscar a estas vacas rezagadas para arrearlas hasta el sector de ordeño. En consecuencia, estos animales presentarían largos intervalos entre ordeños sucesivos.

La búsqueda de las vacas rezagadas se suele realizar temprano o hacia el atardecer, coincidente con momentos en los que el operario se dirige hacia la pastura para preparar las parcelas en las que ingresarán los animales. En el Tambo A de la Figura 5, la búsqueda de vacas ocurre en distintos momentos, y uno de ellos sucede en horas de la madrugada, interfiriendo con el descanso de los operarios. En el Tambo B solo hay dos momentos de búsqueda de vacas, uno en horas tempranas y otro en horas de la tarde. Se puede observar en el Tambo B que si una vaca se queda hasta la hora en la cual el operario la busca es posible que se saltee una parcela de pastoreo (*i.e.* desde la parcela 1 a la 3, salteándose la parcela 2; Figura 5). Es de esperar que los cambios tecnológicos lleven en un futuro cercano a aquellos tambos pastoriles denominados grandes (>500-600 vacas) a utilizar vehículos autónomos para la búsqueda de vacas rezagadas (Clark *et al.*, 2013).

Otra área de investigación en sistemas robóticos de

base pastoril que ha recibido escasa atención es la relativa al comportamiento social de los animales. El comportamiento social se refiere a la forma en la que los individuos del rodeo se relacionan e interactúan, y es uno de los aspectos relevantes en estos sistemas basados en el movimiento voluntario. Dado que los bovinos son animales gregarios y se organizan en jerarquías, en todo rodeo existen animales que expresan comportamientos dominantes y animales con comportamientos subordinados, esto ocurre incluso pese a que los recursos como el alimento no resulten limitantes (Phillips y Rind, 2002; Huzzey *et al.*, 2006). El comportamiento social puede clasificarse en agonístico (vinculado a la competencia) y afiliativo (relacionado con actividades lúdicas y el acicalamiento). Es probable que la mayor autonomía que tienen los animales en los tambos robóticos respecto a los tambos convencionales sea favorable para expresar su comportamiento natural. Algunos estudios señalan que los cambios en el comportamiento social podrían brindar indicios de la falta de bienestar animal. Por ejemplo, el predominio de conductas agonísticas sobre conductas afiliativas podría indicar falta de confort ante situaciones de estrés calórico (Foris *et al.*, 2018).

En los tambos robóticos, dado que el robot está disponible en todo momento, los animales pueden ordeñarse cuando lo desean durante el día y la noche; sin embargo, se ha observado que en horas de la madrugada la

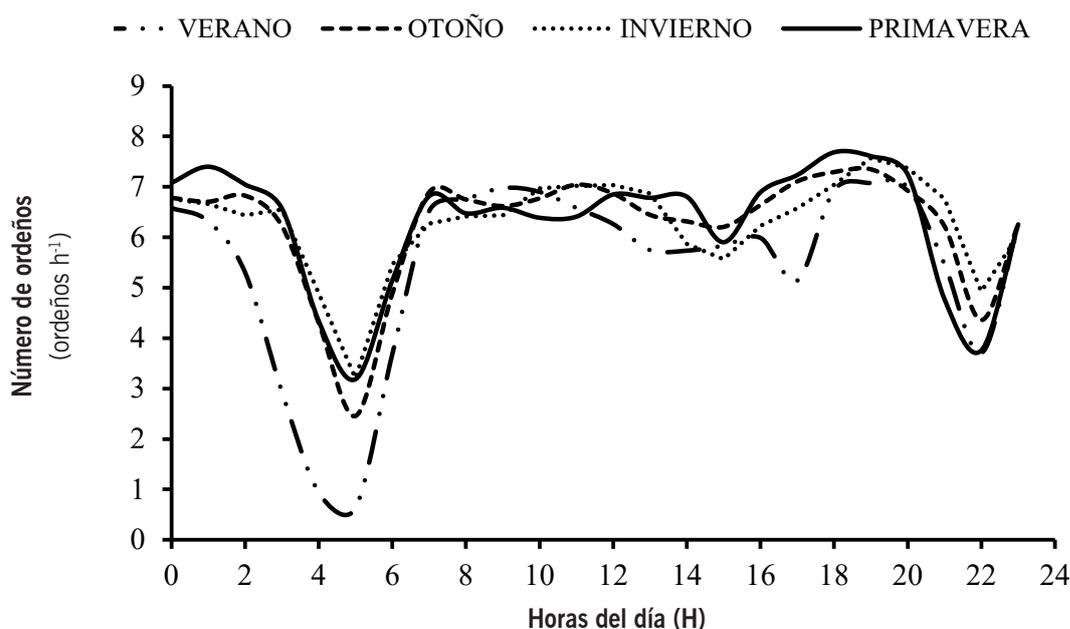


Figura 6. Número de ordeños para las 24 horas del día, en diferentes estaciones del año. Se muestran datos del año 2020 registrados en el tambo robótico de INTA Rafaela.

frecuencia de ordeño suele ser muy baja, especialmente en los tambos de base pastoril. En la Figura 6 se puede observar la frecuencia de ordeño para el tambo robótico de INTA Rafaela, que presenta baja frecuencia de ordeños entre las 3 y 6 h de la madrugada, y alrededor de las 22 h. Adicionalmente, en un trabajo experimental, Jago *et al.* (2003) encontraron que las vacas de dominancia baja e intermedia usualmente se ordeñan entre las 00:00 y las 06:00 h; por el contrario, las vacas que presentan alta dominancia se ordeñan preferentemente en otros momentos del día (de 06:00 a 00:00 h). Esto sugiere que las vacas menos dominantes adecúan su conducta al resto y evitan ordeñarse en momentos donde hay vacas dominantes presentes. Esta posible estrategia evasiva reduciría la competencia por recursos entre individuos de diferente posición jerárquica en el rodeo.

En un estudio realizado en INTA Rafaela se elaboró un índice de dominancia (ID) a partir del registro de las interacciones sociales entre vacas lecheras en el corral de espera. El ID permitió generar un ordenamiento o "ranking" de los animales del rodeo desde el animal más dominante al más subordinado. Se encontró que las vacas dominantes permanecieron menos tiempo en el corral de espera (30 min en promedio) en comparación con las vacas subordinadas (60 min en promedio). No se halló relación entre ID y la producción de leche, ni entre el ID y la frecuencia de ordeño (Millapán *et al.*, 2017). Sin embargo, esta dinámica podría generar efectos sobre otras variables del sistema. Por ejemplo, a mayor tiempo de permanencia en el corral de espera los animales están más tiempo parados sobre superficies de cemento, y por lo tanto son más propensos a la ocurrencia de problemas podales (Cook y Nordlund, 2009; Dijkstra *et al.*, 2012).

El movimiento voluntario de los animales puede verse afectado por el diseño del tambo, vinculado a la ubicación espacial de las parcelas de pastoreo y distancias hasta los sectores de alimentación. En tambos robóticos de base pastoril, un aspecto a considerar es la distancia que tienen que recorrer los animales desde el robot hasta las parcelas de pastura. Se ha observado que con distancias entre 700 a 900 m los animales pueden moverse voluntariamente con frecuencias de ordeño de hasta 2,5 ordeños día⁻¹ (John *et al.*, 2016). Otros estudios indican que con distancias entre 500 a 1.000 m aumenta el intervalo entre ordeños (Lyons *et al.*, 2013c). Cuando las distancias de recorrido son mayores a las mencionadas se afecta el movimiento voluntario y el

flujo de animales hacia el robot. La distancia recorrida por los animales se vuelve más importante a medida que el tamaño del rodeo aumenta, ya que aumentan consecuentemente el área total de pastoreo y la distancia requerida para acceder a diferentes sectores o a diferentes recursos forrajeros (John *et al.*, 2016).

Dado que los bovinos son animales gregarios muchas de sus conductas se sincronizan. La sincronización está influenciada por estímulos asociados al ritmo circadiano (amanecer, atardecer) (Gregorini, 2012; Chilibroste *et al.*, 2015) y a diversos factores de manejo (horarios de acceso y salida a las parcelas, hora de entrega de alimento, cantidad de biomasa forrajera ofrecida) (Millapán, datos no publicados). La sincronización de conductas en sistemas de base pastoril está poco estudiada y son escasos los trabajos en sistemas voluntarios (John *et al.*, 2015). Comprender las implicancias prácticas de la sincronización en tambos robóticos es de mucha importancia. Para que haya un óptimo tráfico voluntario es necesario que los animales se muevan lo menos posible en grupos. Por el contrario, es deseable que los animales se muevan en forma individual.

Los sistemas productivos de animales en pastoreo tienen el potencial de permitir a los animales la expresión de su normal comportamiento. Esto se hace aún más pronunciado en los sistemas con tráfico voluntario, ya que los animales pueden decidir cómo moverse, hacia dónde moverse, y cuándo y con quiénes moverse. Desde hace algunos años se conoce que los animales son seres sintientes, que son conscientes de sus sentimientos y emociones (Dawkins, 2006). También se sabe que los animales tienen personalidad (integración de rasgos conductuales y fisiológicos) con características de tipo cognitivas y emocionales, que pueden influir en sus decisiones y bienestar (Moreno García *et al.*, 2020). La percepción de los consumidores en relación con estos aspectos está cambiando rápidamente, y existen presiones y exigencias sociales crecientes por el desarrollo de sistemas de producción que contemplen el bienestar animal. Se espera que en estos sistemas los animales puedan experimentar estados emocionales positivos (placer, alegría, alivio) y minimizar la ocurrencia de experiencias negativas (dolor, miedo, incomodidad, sufrimiento).

Requisitos para la adopción exitosa de robots de ordeño en la Argentina

La adopción de esta tecnología en la Argentina requiere tener en cuenta varias pautas que permitan su

buen funcionamiento, así como su adaptación a las características particulares de los sistemas de base pastoril locales.

En general, el óptimo funcionamiento de robots de ordeño en sistemas de base pastoril debe considerar que (i) la circulación de vacas por los diferentes sectores del tambo y el acceso al robot es voluntaria, siendo estimulada por incentivos como la alimentación; (ii) la vaca debe acceder al robot ordeñador para ser ordeñada, y se debe lograr la mayor cantidad de ordeños completos y evitar ordeños incompletos (es decir, cuando se ordeñan menos de cuatro pezones); (iii) el número de vacas por robot depende de que el objetivo sea ordeñar muchas vacas con una baja frecuencia de ordeño, u ordeñar pocas vacas con una alta frecuencia de ordeño; (iv) una distribución de ordeños homogénea en las 24 h del día optimiza el uso del robot; (v) las tranqueras inteligentes (ver Figura 4) regulan el acceso de vacas a cada sector y al robot ordeñador, e influyen sobre el diseño del tambo.

El robot ordeñador constituye un desarrollo tecnológico que está impactando marcadamente en la operación de tambos comerciales en la Argentina y el mundo. El robot permite extraer leche de calidad al estandarizar la rutina de ordeño. Además, elimina la tarea rutinaria del ordeño, favorece el trato individual y el bienestar de cada vaca, y captura datos de los individuos del rodeo en forma continua. Sin embargo, el funcionamiento del sistema con robot no depende exclusivamente de la herramienta sino del diseño del sistema, que influirá sobre la posibilidad de manejar incentivos y el comportamiento de los individuos afectando el tráfico de vacas por el sistema y el acceso al robot.

La adopción exitosa de robots de ordeño requiere ampliar el conocimiento sobre aspectos detallados del comportamiento animal y transformarlos en prácticas que mejoren la circulación de las vacas por el sistema. En gran parte, optimizar el funcionamiento del tambo y alcanzar simultáneamente una alta utilización del robot dependerá de garantizar el tráfico voluntario de los animales por los distintos sectores del tambo. Mientras que en sistemas convencionales se utilizan dos parcelas diarias debido a que el rodeo se ordeña dos veces al día en sesiones fijas, en sistemas robóticos de base pastoril, la incorporación de una tercera parcela o sector de alimentación promueve el tráfico voluntario y aumenta la producción de leche por vaca al facilitar una mayor frecuencia de ordeño. Un apropiado tráfico voluntario evitará dos situaciones productivas indeseables: que se

acumulen muchos animales en el corral de espera o que no haya animales en el corral de espera. En el primer caso, el robot tendrá animales que ordeñar, pero dada la acumulación de animales, habrá individuos que pasarán mucho tiempo parados allí antes de ordeñarse lo cual puede ser perjudicial para la salud podal. En el segundo caso, el robot tendrá tiempo ocioso esperando el ingreso de los animales.

Por otra parte, el comportamiento social de los animales es una oportunidad para introducir en la lechería pautas innovadoras de manejo. Es probable que el manejo de individuos de jerarquías sociales contrastantes (dominantes, subordinadas) pueda impactar además en el flujo de animales al sector de ordeño y que esto logre que los animales no tengan que permanecer un tiempo excesivo en el corral de espera. Estas ideas aún se hallan en etapa de investigación.

Por último, el éxito en la adopción de robots de ordeño también depende de que los productores puedan incorporar y adaptar en forma práctica los nuevos conocimientos para diseñar y optimizar el funcionamiento de los sistemas robóticos pastoriles que simplifiquen la operación del tambo. Además, el operario debe ser capaz de utilizar el software con el que opera el robot y la aplicación que le permite operar en forma remota, sin necesidad de estar físicamente en el tambo. En gran parte es por esta característica que estos sistemas son más flexibles y atractivos para las nuevas generaciones de operarios y productores. Además, los operarios deberán ser capaces de gestionar el gran volumen de datos que proporciona el robot, y transformarlos en información útil para la toma de decisiones.

CONCLUSIONES

En los tambos robóticos de base pastoril es importante optimizar la operación del sistema y el funcionamiento del robot. Para eso es necesario aplicar los conocimientos vinculados al tráfico voluntario de los animales, al diseño de los sectores de alimentación y al comportamiento social. El manejo estratégico de los incentivos, principalmente los alimentos, impactará en una óptima circulación de los animales por todos los sectores del tambo y el acceso al robot ordeñador. Se especula que el manejo de los individuos dominantes y subordinados también contribuirá a estimular la circulación de los animales y a lograr una alta utilización del robot, al evitar la aglomeración de animales en el corral de espera. En los tambos robóticos de base pastoril, a diferencia de los sistemas

convencionales, el foco debería ser el manejo del individuo en vez del manejo del rodeo. Los cambios tecnológicos en la lechería implican oportunidades para el crecimiento de productores lecheros de base pastoril en la Argentina. Al mismo tiempo, promueve el

desarrollo y perfeccionamiento de los técnicos y productores del sector, así como la generación de nuevos conocimientos en líneas de investigación aplicada y desarrollo tecnológico.

BIBLIOGRAFÍA

- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A. y Trevisi, E. (2014). Ruminant time around calving: an early signal to detect cows at greater risk of disease. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3635-3647. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7709>
- Chilibroste, P., Gibb, M. J., Soca, P. y Mattiauda, D. A. (2015). Behavioural adaptation of grazing dairy cows to changes in feeding management: do they follow a predictable pattern? *Animal Production Science*, 55, 328-338. <https://doi.org/10.1071/AN14484>
- Clark, C. E., García, S. C., Kerrisk, K. L., Underwood, J. P., Nieto, J. I., Calleija, M. S., Sukkarieh, S. y Cronin, G. M. (2013). A robot amongst the herd: a pilot investigation regarding the behavioural response of dairy cows. En: Ingram, L., Cronin, G. M. y Sutton, L. M. (Eds.). *Proceedings of the 4th Australian and New Zealand Spatially Enabled Livestock Management Symposium* (pp. 14-15). The University of Sydney.
- Clark, C. E., Horadagoda, A., Kerrisk, K. L., Scott, V., Islam, M. R., Kaur, R. y García, S. C. (2014). Grazing soybean to increase voluntary cow traffic in a pasture-based automatic milking system. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 27(3), 422-430. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13433>
- Clay, N., Garnett, T. y Lorimer J. (2020). Dairy intensification: drivers, impacts and alternatives. *Ambio*, 49(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>
- Cook, N. B. y Nordlund, K. V. (2009) The influence of the environment on dairy cow behavior, claw health and herd lameness dynamics. *The Veterinary Journal*, 179(3), 360-369. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.09.016>
- Davison, C., Michie, C., Hamilton, A., Tachtatzis, C., Andonovic, I. y Gilroy M. (2020). Detecting heat stress in dairy cattle using neck-mounted activity collars. *Agriculture*, 10 (6), 210. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060210>
- Dawkins, M. S. (2006). Through animal eyes: what behaviour tells us? *Applied Animal Behaviour Science*, 100, 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.04.010>
- Delamare, E. y Guinard-Flament, J. (2006). Increasing milking intervals decreases the mammary blood flow and mammary uptake of nutrients in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89, 3439-3446. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72381-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72381-5)
- Dijkstra, C., Veermäe, I., Praks, J., Poikalainen, V. y Arney D. R. (2012). Dairy cow behaviour and welfare implications of time waiting before entry into the milking parlor. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 15(4), 329-345. <https://doi.org/10.1080/10888705.2012.709137>
- El-Osta, H. S. y Morehart, M. J. (2000). Technology adoption and its impact on production performance of dairy operations. *Review of Agricultural Economics*, 22(2), 477-498.
- Engler, P., Cuatrin, A., Apez, M., Maekawa, M., Litwin, G., Centeno, A., Marino, M. y Moretto M. (2022). *Encuesta Sectorial Lechera del INTA. Resultados del ejercicio productivo 2020-2021* (67 pp.). Informe técnico. Publicación Miscelánea N° 22 del INTA. INTA Ediciones.
- Foley, C., Shortall, J. y O'Brien, B. O. (2015). Milk production, cow traffic and milking duration at different milking frequencies in an automated milking system integrated with grazing. *Precision Livestock Farming*, 40-47.
- Foris, B., Zebunke, M., Langbein, J. y Melzer N. (2018). Comprehensive analysis of affiliative and agonistic social networks in lactating dairy cattle groups. *Applied Animal Behaviour Science*, 210, 60-67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.10.016>
- García, S. C., Fulkerson, W. J., Nettle, R., Kenny, S. y Armstrong D. (2007). Future dairy: a national, multidisciplinary project to assist dairy farmers to manage future challenges-methods and early findings. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 1025-1031. <https://doi.org/10.1071/EA06064>
- Gastaldi, L., Litwin, G., Maekawa, M., Centeno, A., Engler, P., Cuatrin, A., Chimizc, J., Ferrer, J. L. y Suero, M. (2015). *El tambo argentino: una mirada integral a los sistemas de producción de leche de la Región Pampeana*. Informe técnico. INTA Ediciones.
- Gregorini, P. (2012). Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52, 416-430. <https://doi.org/10.1071/AN11250>
- Hammer, J. F., Morton, J. M. y Kerrisk, K. L. (2012). Quarter-milking, quarter-, udder- and lactation-level risk factors and indicators for clinical mastitis during lactation in pasture-fed dairy cows managed in an automatic milking system. *Australian Veterinary Journal*, 90, 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2012.00917.x>
- Huzzey, J. M., DeVries, T. J., Valois, P. y von Keyserlingk, M. A. (2006). Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 126-133. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72075-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72075-6)
- Jacobs, J. A. y Siegford, J. M. (2012). Invited review: the impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 95, 2227-2247. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
- Jago, J. G. y Woolford, M. W. (2002). Automatic milking systems: an option to address the labour shortage on New Zealand dairy farms? *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 64, 39-43. <https://doi.org/10.33584/jnzc.2002.64.2471>
- Jago, J., Jackson, A. y Woolford, M. (2003). Dominance effects on the time budget and milking behaviour of cows managed on pasture and milked in an automated milking system. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 63, 120-123.
- Jago, J. y Burke, J. (2010). An evaluation of two pastoral dairy production systems using automatic milking technology. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 72, 109-116.
- John, A. (2013). *Pasture allocation in two high performing automatic milking systems* (Tesis para Bachelor of Agricultural Science). School of Agricultural Science, University of Tasmania, Australia.

- John, A. J., Freeman, M. J., Kerrisk, K. F., y Clark, C. E. (2015). Herd synchronisation in a pasture-based Automatic Milking System. *Proceedings of the Dairy Research Foundation Symposium*, The University of Sydney, Camden, Australia, 20, 122-127.
- John, A. J., Clark, C. E., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., García, S. C. y Halachmi, I. (2016). Review: milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10(9), 1484-1492. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000495>
- Kamphuis, C., DelaRue, B., Burke, C. R. y Jago, J. (2012). Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *Journal of Dairy Science*, 95(6): 3045-3056. Doi: 10.3168/jds.2011-4934
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L. y García, S. C. (2013a). Effect of pre- versus postmilking supplementation on traffic and performance of cows milked in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 96, 4397-4405. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6431>
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L. y García S. C. (2013b). Comparison of 2 systems of pasture allocations on milking intervals and total milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4494-4504. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6716>
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L., Dhand, N. K. y García, S. C. (2013c). Factors associated with extended milking intervals in a pasture-based automatic milking system. *Livestock Science*, 158, 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.10.010>
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L. y García, S.C. (2014). Milking frequency management in pasture-based automatic milking system: A review. *Livestock Science*, 159(1), 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.011>
- Millapán, L. O., Espinosa, C. M., Siri, J., Gatti, M. L., Etchart, J. P., Ghiano, J., Walter, E., Costamagna, D., Taverna, M. A. y Rossi, J. L. (2017). El Índice de Dominancia como elemento predictivo en vacas lecheras en un tambo con ordeño robotizado. *Revista Argentina de Producción Animal*, 37(1), 217.
- Millapán, L. O., Cipriotti, P. A., Gatti, M. L., Ghiano, J., Costamagna, D., Taverna, M. A. y Rossi, J. L. (2018). Revisión bibliográfica: producción de leche y tráfico voluntario en tambos pastoriles con ordeño robótico. *Revista Argentina de Producción Animal*, 38(1), 136.
- Moreno García, C. A., Maxwell, T. M., Hickford, J. y Gregorini, P. (2020). On the search for grazing personalities: from individual to collective behaviors. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 74. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00074>
- Mulchandani, R., Wang, Y., Gilbert, M. y Van Boeckel, T.P. (2023). Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Global Public Health*, 3(2): e0001305. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0001305>
- Phillips, C. J. y Rind, M. I. (2002). The effects of social dominance on the production and behavior of grazing dairy cows offered forage supplements. *Journal of Dairy Science*, 85(1), 51-59. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74052-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74052-6)
- Rodenburg, J. (2017). Robotic milking: technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7729-7738. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11715>
- Ruegg, P. L. (2017). A 100-year review: mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 100, 10381-10397. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13023>
- Schmidt, G. H. (1960). Effect of milking intervals on the rate of milk and fat secretion. *Journal of Dairy Science*, 43, 213-219. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(60\)90143-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(60)90143-0)
- Scott, V. E., Thomson, P. C., Kerrisk, K. L. y García, S. C. (2014). Influence of provision of concentrate at milking on voluntary cow traffic in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 97, 1481-1490. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7375>
- Scott, V. E., Kerrisk, K. L., Thomson, P. C., Lyons, N. A. y García, S. C. (2015). Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*, 171, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.11.002>
- Scott, V. E., Kerrisk, K. L. y García, S. C. (2016). Offering a forage crop at pasture did not adversely affect voluntary cow traffic or milking visits in a pasture-based automatic milking. *Animal*, 10(3), 500-507. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002244>
- Simões Filho, L. M., Lopes, M. A., Corrêa Brito, S., Rossi, G., Conti, L. y Barbari, M. (2020) Robotic milking of dairy cow: a review. *Ciências Agrárias*, 41(6), 2833-2850. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2833>
- Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A. y Giordano, J. O. (2016). Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7395-7410. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10907>
- Taverna, M., Ghiano, J., Costamagna, D., García, K. y Walter E. (2016). Evaluación bio-económica de un sistema lechero pastoril intensivo incorporando tecnologías de precisión, ordeño voluntario automatizado (VMS®) y las TIC. *Informe Técnico N° 61* (pp. 43). INTA Ediciones.