

Comparación del sistema de ordeño convencional y robotizado para los parámetros de composición y calidad de leche, en sistema a pastoreo

Juan Pablo Avilez*, Pía Meyer y Jorge Luis Meyer

Departamento de Medicina Veterinaria, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar el impacto productivo (kg día⁻¹ de leche por vaca), calidad nutricional (cantidad de grasa y proteína) y microbiológica (RCS) de la leche, en un rebaño lechero que pasó de una ordeña convencional a una robotizada, con sistemas de alimentación en base a pradera. Se utilizaron datos de 12 meses para cada sistema, 2017 para la ordeña convencional y 2018 para la ordeña robotizada. Se obtuvieron datos del control lechero para el ordeño convencional y del equipo de ordeña marca Lely Astronaut A4 para el ordeño robotizado. Los datos fueron sometidos a un análisis comparativo a través prueba de t de *student*. El sistema robotizado presentó significativamente ($p > 0,05$) una mayor producción de leche ($24,18 \pm 2,76$ L) y de grasa ($4,12 \pm 0,34$ %) en relación a la ordeña convencional ($22,62 \pm 4,16$ L y $4,03 \pm 0,39$ % de grasa). Por otro lado el RCS fue significativamente mayor ($p > 0,05$) en la ordeña robotizada ($221,56 \pm 62,96 \times 10^3$ células ml⁻¹) en relación a la convencional ($213,56 \pm 94,88 \times 10^3$ células ml⁻¹).

Palabras clave: Ordeña a robot, calidad nutricional, sanitaria de la leche.

Comparison of the conventional and robotic milking system for the parameters of composition and quality of milk, in grazing system

Abstract

The objective of this study was to compare the productive impact (kg day⁻¹ of milk per cow), nutritional and microbiological quality of milk, in a dairy herd when moving from a conventional milking to a robotized one with feeding systems based on grassland. 12-month data were used for each system, which were obtained from the dairy control for conventional milking and from Lely Astronaut A4 milking equipment for robotic milking. The data were subjected to a comparative analysis through the student's t-test. The robotic system showed significantly ($p > 0.05$) a higher milk (24.18 ± 2.76 L) and fat (4.12 ± 0.34 %) production in relation to conventional milking (22.62 ± 4.16 L and 4.03 ± 0.39 % fat). On the other hand, the RCS was significantly higher ($p > 0.05$) in the robotic milking ($221.56 \pm 62.96 \times 10^3$ cells ml⁻¹) in relation to the conventional one ($213.56 \pm 94.88 \times 10^3$ cells ml⁻¹).

Keywords: Milk a robot, nutritional, sanitary quality of milk.

* Autor para correspondencia: jpavilez@uct.cl

Cita del artículo: Avilez JP, Meyer P, y Meyer JL (2021). Comparación del sistema de ordeño convencional y robotizado para los parámetros de composición y calidad de leche, en sistema a pastoreo. ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar. 117(2): 162-172. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.018>

Introducción

En Chile, la Región de Los Ríos y Los Lagos produce el 80 % de la leche del país, alcanzado un total de 1.686.103.439 L anuales (ODEPA, 2017). Esto es debido a que las características climáticas de la zona sur permiten el desarrollo de la producción lechera en sistemas basados a pastoreo (Navarro, 2006).

La ordeña es fundamentalmente con equipo mecanizado convencional, que de acuerdo con los predios tienen mayor o menor tecnología (Carrillo *et al.*, 2011). Por otro lado, en Chile cada vez es más difícil encontrar mano de obra en las regiones lecheras, debido al aumento de la acuicultura en estas regiones, lo cual ha ocasionado una migración de la fuerza laboral a sectores más rentables, o también al poco interés de los trabajadores por las labores agrícolas, que en el caso europeo ha generado migraciones de otros países para suplir esta mano de obra (Amtmann y Blanco, 2001). Debido a esto, en los últimos años en Europa comenzó a aparecer el sistema de ordeña robotizada, mejorando la calidad de vida de los productores lecheros, existiendo actualmente alrededor de 35.000 unidades robotizadas en todo el mundo (Salfer *et al.*, 2017). Los motivos para invertir en el robot de ordeño son diversos: disminución de trabajo, flexibilidad laboral, posibilidad de ordeñar las vacas más de 2 veces al día, sustitución de un empleado reduciendo los errores en los procedimientos y una menor contaminación de la leche (Hogveen *et al.*, 2004).

La ordeña robotizada comenzó y ha sido bien desarrollada en sistemas con estabulación exclusiva, donde los animales tienen a disposición un patio de alimentación y reciben una ración total mezclada, lo que permite a las vacas tener un consumo adecuado para responder a altos niveles de producción de leche.

En los últimos años la ordeña robotizada ha ingresado a sistemas productivos con alimentación en base a praderas, siendo la principal diferencia con el sistema robotizado estabulado la complejidad que debe tener el manejo de la pradera en el ingreso y salida de las vacas desde el robot a la pradera. Por otro lado, la vaca debe recorrer grandes distancias desde la pradera a la sala de ordeña y sumado al constante cambio de las praderas en calidad y cantidad, hacen que exista una organización de los potreros. Lo anterior, con el objeto de que no existan limitaciones en la ingesta de materia seca y con ello se perjudique el nivel productivo de las vacas (Jiang *et al.*, 2017; Lyons *et al.*, 2014).

Chile es el primer país en América del Sur en introducir la ordeña robotizada, teniendo en la actualidad la empresa lechera con sistema robotizado más grande del mundo (Valenzuela, 2017). En la Región de los Ríos en Chile se han instalado robots en planteles lecheros que sostienen su producción con alimentación a base de praderas, el cual posterior a la instalación del robot se debe modificar, esto puede alterar la frecuencia de ordeña y el rendimiento productivo, manteniendo o disminuyendo la mano de obra pero logrando una mayor producción por vaca, que puede ir de un 6 % a 28 % para la producción de leche y una disminución de 18 % en mano de obra (Rodenburg, 2017). Sin embargo, en el caso chileno no se ha reportado el efecto productivo de pasar de una ordeña convencional a una robotizada en los sistemas con base pradera. Es por ello por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de pasar de una ordeña convencional a una robotizada en los parámetros de cantidad de leche ($L\ día^{-1}$), calidad nutricional de la leche en proteína y grasa, y calidad microbiológica de la leche a través del recuento de células somáticas de leche, en sistema un predio lechero con alimentación a base de pradera.

Material y métodos

Sector

El sector utilizado para el estudio fue el predio ubicado 740° 34' 21" S y 073° 08' 07" W sector Filuco, Río Bueno, en la Región de los Ríos a la altura de 450 m sobre el nivel del mar. El predio se encuentra en el valle central de Chile y posee un clima húmedo-templado con una precipitación media de 1330 mm por año y con temperaturas medias de 12,2 °C.

Equipo utilizado

El equipo de ordeña convencional utilizado fue el De Laval espina de pescado con 12 unidades, modelo 1994 (para 90 vacas día⁻¹, con un tiempo de ordeña de 4 ± 0,5 h total desde el arreo del potrero a la limpieza del equipo).

El equipo de ordeña robotizada utilizado fue LELY ASTRONAUT A4 para unas 60 vacas.

Animales

Se utilizaron datos productivos de 76 vacas lecheras de la raza Frison Rojo de un nivel productivo en el año 2016 de 19,62 ± 3,45 kg día⁻¹, de 1 a 8 partos.

Alimentación utilizada

La alimentación en el año 2017 es a base pradera, compuesta por *Lolium perenne* y *Trifolium repens* en una superficie de 42,5 ha. La calidad de la pradera en energía Mcal EM⁻¹ (kg MS) y cantidad de proteína (10,1 % a 24,8 %) varió dependiendo la época del año. El concentrado utilizado fue un pellet comercial de 2,2 Mcal EM⁻¹ a 3,1 Mcal EM⁻¹ (kg MS) y un nivel proteico 12 % a 22 %, suministrado como suplemento a la pradera, dependiendo del nivel productivo del animal y la época del año (Tabla 1) en una cantidad de 4,3 ± 1,7 kg día⁻¹ (rango 0 - 10,18 kg día⁻¹) repartido durante las 2 ordeñas al día en el sistema convencional.

En la ordeña robotizada en el año 2018 se utilizó el mismo sistema de alimentación a base de praderas. En este periodo el manejo de la pradera consistió en dividir la superficie disponible de la pradera en bloques de parcelas, en torno al sector donde estaba ubicado el robot. Las vacas fueron rotando por las parcelas, pasando previamente por el sector del robot, permitiendo a los animales ingresar a las parcelas con mayor disponibilidad de forraje. En el Robot el concentrado fue repartido de

Tabla 1. Características nutricionales del alimento.
Table 1. Nutritional characteristics of the food.

Composición química (% Base MS - Materia seca)	Primavera	Invierno	Concentrado
MS (%)	18,4	34,7	86,2
Proteína cruda (%)	24,8	10,1	Rango 12 a 22
Extracto etéreo (%)	1,5	0,1	4,5
Fibra cruda (%)	17,5	43,1	34,2
Fibra detergente neutro (%)	25	23,8	18,5
Fibra detergente ácido (%)	42,6	26,5	32,5
Cenizas (%)	9	4	4,5
Energía Metabolizable (Mcal kg ⁻¹) ^a	2,43	2,02	Rango 2,2 a 3,1

MS = Materia Seca. ^aEstimada de acuerdo a NRC (2001).

acuerdo con el número de veces que la vaca ingresa a la sala de ordeña (de acuerdo con el nivel productivo), mediante el sistema de tuberías de dosificación de alimento. El peso de la cantidad de alimento se especifica y ajusta en E-Link. T4C que suministra la información relativa a la cantidad de alimento correspondiente a la vaca identificada.

Medición de parámetros

En la ordeña convencional (año 2017), la producción de leche (L leche día⁻¹), calidad nutricional (cantidad de grasa y de proteína) y calidad microbiológica de la leche (RCS, Recuento de células somáticas) se determinó a través del control lechero mensual. Para ello se utilizó un equipo de medición Waikato® y se tomó una muestra de leche de 30 ml (al que se le añadieron 0,03 g de dicromato de potasio al 0,1 % como conservante) por vaca, para analizar en laboratorio la grasa y proteína, usando un espectrofotómetro infrarrojo (Foss 4200 Milko-scan; Foss Electric, Dinamarca). El RCS ($\times 10^3$ cel. ml⁻¹) se determinó usando el equipo Fossomatic Electronic Cell Counter (Fossomatic 5000, Hillerod, Denmark).

El equipo de ordeña robotizada LELY ASTRONAUT A4 midió la producción (L leche día⁻¹) y la calidad de la leche con el Milk Quality Control, versión 2 (MQC-2). El MQC-2 instalado en el brazo inferior del robot mide: flujo de leche, color de la leche, conductividad de la leche y temperatura de la leche. Los datos medidos se almacenaron en el sistema de control del ASTRONAUT A4. El MQC-2 va conectado a la red del bus CAN del ASTRONAUT A4.

Análisis estadístico

Los datos analizados fueron producción de leche (kg día⁻¹), % de grasa, % de proteínas y RCS $\times 10^3$ cel. ml⁻¹ del control lechero del año 2017 para la ordeña convencional, y los datos

de producción de leche (kg día⁻¹), % de grasa, % de proteínas y RCS $\times 10^3$ cel. ml⁻¹ generados los meses del 2018 en la ordeña robotizada. Estos datos fueron llevados a una tabla de Microsoft Excel 2010 y en el programa SPSS Statistics de SPSS de Windows 18.0 package (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), donde se realizó la prueba de t de *student* con un $p < 0,05$, de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \epsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es la variable dependiente; μ = media; T_i = efecto fijo del tratamiento i grupo (efecto de ordeñadora); ϵ_{ijk} = efecto aleatorio.

Resultados y discusión

En producción de leche, % de grasa y en recuento de RCS se observó diferencia estadística significativa ($p < 0,05$), no así en los otros parámetros productivos analizados, entre el sistema de ordeña convencional y el robotizado (Tabla 2).

Existen pocos estudios relacionados con la producción de leche utilizando ordeña robotizada en pastoreo. En general los estudios en sistemas de confinamiento indican que la producción de leche por vaca mejora, debido a la mayor frecuencia de ordeño (Klei *et al.*, 1997), aumentando el rendimiento de la leche de un 2 % a un 8 % (Svennersten-Sjaunja y Pettersson, 2008). De Marchi *et al.* (2016) señalan un aumento de 3,4 % en la producción de leche en productores que pasan de un sistema convencional a un sistema robotizado de vacas en confinamiento, atribuyendo esta situación a una relación directa entre la mayor frecuencia de ordeño y la secreción de leche.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que un aumento de la frecuencia de ordeño en sistemas robotizados no siempre dará como resultado un aumento en la producción de

Tabla 2. Producción, grasa, proteína y recuento de células somáticas (RCS) de la leche en el sistema de ordeña convencional y en el robotizado.

Table 2. Production, fat, protein and somatic cell count (RCS) in milk using the conventional milking or robotic milking system.

	Convencional (M ± DS)	Robotizada (M ± DS)	p*
Producción de leche (kg d ⁻¹)	22,62 ± 4,16	24,18 ± 2,76	0,000
% Grasa	4,03 ± 0,39	4,12 ± 0,34	0,002
Grasa (kg d ⁻¹)	0,911 ± 0,0891	0,997 ± 0,0844	0,070
% Proteína	3,50 ± 0,11	3,48 ± 0,09	0,271
Proteína (kg d ⁻¹)	0,792 ± 0,0249	0,841 ± 0,024	0,854
RCS (× 10 ³ cel. ml ⁻¹)	213,56 ± 94,88	221,56 ± 62,96	0,000

n = 76. M = media; DS = desviación estándar; * p < 0,05. RCS: Recuento de células somáticas.

leche, debido a que el rendimiento también está relacionado con la edad, genética, fisiología, ingesta de nutrientes y a factores propios de la vaca (Lyons *et al.*, 2014; Scott *et al.*, 2014). En nuestro estudio, los factores asociados a la tasa de remplazo y la edad fue el mismo en los años analizados (14 %) siendo este un rebaño estabilizado. Por otro lado, la genética se mantuvo sin cambios en el predio con genética Holstein rojo.

En el predio en estudio también se mantuvo la fertilización y control de maleza de las praderas entre los años 2017 y 2018. Sin embargo, el manejo de la pradera en una ordeña robotizada requirió de nuevos desafíos como son: formar parcelas, considerar las distancias entre potreros con respecto a la ubicación del robot, además de considerar el acceso diferenciado diariamente a las parcelas con buena producción de forraje desde la ordeñadora. Estos factores pueden influir en el consumo de la vaca, afectando el nivel productivo positiva o negativamente (Lyons *et al.*, 2014). En pastoreo se reporta un aumento de la producción de leche al pasar de una ordeña convencional a una robotizada de entre un 2-12 %, como es el caso de este

estudio, donde se logró un aumento de un 6,4 % en la producción de leche. Esto debido posiblemente a la mayor frecuencia de ordeño (Holloway *et al.*, 2014; Rodenburg, 2017), que en este estudio pasó de 2 ordeñas diarias en la convencional, como ocurre en la mayoría de las lecherías en Chile, a una frecuencia mayor de 2,4 veces al día en la robotizada. Sin embargo, a diferencia en sistema de estabulación exclusiva, hay una gran variación en los resultados productivos en uso de robot en pasturas, que estarían relacionados con el tipo de pradera, nivel de suplementación utilizado, frecuencia de acceso a la pradera, entre otros (Lyons *et al.*, 2014). Ordeños robóticos regularmente alcanzan un promedio de 3,1 a 3,2 ordeños por vaca día⁻¹, con intervalos de ordeño de 7,5 h a 12,4 h, lo que corresponde a una frecuencia de ordeño promedio mayor a 3 ordeños diarios (Mollenhorst *et al.*, 2011).

Por otro lado, el paso de una ordeña convencional a una robotizada puede presentar una baja en la producción de leche en sistemas estabulados, esto debido a que la vaca debe acostumbrarse al nuevo sistema, señalándose que al menos se necesitan unos 3-4 años para

igualar la producción de una ordeña convencional (Scott *et al.*, 2014), lo cual en nuestro estudio no ocurrió, debido posiblemente a que desde el principio de la instalación del equipo robotizado se usó un manejo de tráfico forzado para el uso de la pradera, lo cual adaptaría a los animales de forma más rápida a la ordeña robotizada (Clark *et al.*, 2015). En este sentido el sistema de alimentación con base a pradera en ordeña robotizada puede realizarse a través de los dos tipos de movimientos: tráfico forzado o tráfico libre. En el tráfico forzado la salida desde el área de alimentación (en este caso la pradera) hacia la ordeña está determinada por un tiempo establecido por el productor, para que las vacas se adapten al nuevo sistema. Por otra parte, el tráfico libre es el más utilizado en los sistemas pastoriles con ordeña robótica, donde el movimiento de las vacas se realiza a libre elección (Lyons *et al.*, 2014, Rodenburg, 2017), el cual fue utilizado en el predio del estudio una vez que las vacas se acostumbraron al robot, alrededor de 4-5 meses.

Como se señaló anteriormente, en la adaptación inicial del sistema a pastoreo con ordeña a robot las vacas deben arrear al robot para que se acostumbren al nuevo sistema de ordeña, lo que puede generar una mayor permanencia en la sala de espera, hasta que ingresan a ser ordeñadas nuevamente, produciéndose cambios en el comportamiento alimentario que podrían conducir a acidosis ruminal, situación que no es analizada en este trabajo, pero creemos que no se produce este problema debido a que la dieta cuenta con buenos niveles de fibra efectiva.

Por otro lado, los animales cuando están en tráfico libre pueden tener una mayor frecuencia de alimentación si cuentan con una disponibilidad y calidad de la pradera adecuada. Pero si la pradera en calidad y disponibilidad es deficiente puede disminuir la frecuencia de ordeño debido a una baja en la ingesta de materia seca, lo que ocasionar

una mayor búsqueda del alimento en los sistemas a pastoreo. Es por este motivo que el suministro de concentrado a la hora de la ordeña es una motivación para atraer a las vacas al robot (Scott *et al.*, 2014; Tremblay *et al.*, 2016), como fue en este estudio donde la suplementación con concentrado genera una dieta balanceada al animal, mejorando su nivel productivo.

Otro problema que tiene la alimentación base pradera en sistemas convencionales es que las vacas deben recorrer grandes distancias desde el potrero a la ordeñadora, estimándose alrededor de los 800 m de caminata, por lo que se producen largos intervalos de ordeño, teniendo como efecto una reducción en la producción de leche y un mayor gasto de energía de mantención del animal. Como estrategia de mejora a estas grandes distancias que tiene que recorrer el animal desde la pradera al robot se debe lograr un uso eficiente en el manejo de la pradera, en cuanto a su máximo aprovechamiento, utilizando por ejemplo el pastoreo en franja o el sistema rotacional con uso de cerco eléctrico, con el fin de disminuir los rechazos o la selección. Además, se deben implementar estrategias que signifiquen compensar el recorrido que hacen las vacas de la pradera a la máquina de ordeña, como es aumentar el rendimiento de las praderas a su máximo potencial y con una mayor cantidad de materia seca producida por hectárea, acompañado con la utilización de cultivos suplementarios con rotación (Lyons *et al.*, 2014). Por otro lado, se puede utilizar una buena suplementación estratégica asociada al uso de heno o silo, lo que mejora el balance nutricional (Avilez-Ruiz *et al.*, 2013).

La alimentación suplementaria con concentrado peletizado comercial, granos o subproductos de granos (o mezcla chancada de granos) en la sala de ordeña, es una práctica rutinaria en los sistemas de pastoreo en Chile; sin embargo, los kg día⁻¹ pueden ser similares

para todos los animales, sin importar el nivel productivo de la vaca (Avilez-Ruiz et al., 2012). En este estudio, en el sistema convencional se daba una cantidad de alimento (kg día^{-1}) de acuerdo con el nivel productivo del animal; pero en un sistema robotizado la cantidad de concentrado suministrada (kg día^{-1}) es mucho más exacto, siendo ajustada constantemente a los niveles productivos de acuerdo con el potencial lechero y al periodo de la curva de lactancia que presenta la vaca, monitoreándose día a día la producción del rebaño en forma individual. Esto sumando al chequeo diario de la calidad nutricional de la leche (cantidad de proteína y grasa), permite ajustar las dietas con mayor frecuencia y así mejorar el balance nutricional, la condición corporal y con ello la producción de leche (Holloway et al., 2014).

En un sistema convencional, mayoritariamente, el chequeo de cantidad de leche y calidad nutricional y microbiológica es realizado una vez al mes a través del control lechero que efectúan los productores de sus animales, lo cual a veces obliga a tomar decisiones nutricionales a largo plazo, a diferencia del sistema robotizado donde el monitoreo constante permite ajustar las necesidades nutricionales del animal día a día, logrando un mejor balance en la dieta y posiblemente una mejor rentabilidad. Esto no fue evaluado en este ensayo por solo contar con un año de muestreo, pero en la actualidad se está analizando. Además, el uso de alimento suplementario de acuerdo al nivel productivo del animal permite optimizar la pradera y ajustar la dieta a los constantes cambios en cantidad y calidad de energía y/o proteína que son características de las praderas del sur de Chile (Pino 2018; Balocchi y Teuber, 2003).

El consumo máximo de concentrado en este estudio llegó a $10,18 \text{ kg día}^{-1}$ como suplemento a la pradera, coincidiendo con Bach et al. (2007) quienes señalan que el consumo de concentrado en cantidades de 3 kg a $8 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$

en el robot podría favorecer la frecuencia de ordeño y con ello la producción de leche. Sin embargo, en un estudio realizado por Scott et al. (2014) comprobaron que ofrecer una pequeña cantidad de concentrado de $0,5 \text{ kg vaca}^{-1}$ al ingresar a la unidad de ordeña reduce los tiempos de las vacas en la sala de espera, pudiendo ser considerada una estrategia viable para lograr que aquellas vacas que pasan más tiempo esperando a ser ordeñadas, ingresen más rápido al robot, sin necesidad de estar previamente acostumbradas a recibir alimentación durante la ordeña. En el caso de nuestro estudio los animales eran alimentados con concentrados en la ordeña convencional, por lo cual de alguna forma estaban acostumbrados a este sistema de alimentación durante la ordeña. Por el contrario, Tse et al. (2018) reportan que para mejorar la frecuencia de ordeño en sistemas robotizados utilizaron alimentos con mayor palatabilidad en la sala de ordeña; sin embargo, no obtuvieron diferencias significativas en la producción de leche.

Por otra parte, la utilización de concentrados en la sala de ordeña puede afectar negativamente el comportamiento de los animales menos dominantes o más jóvenes, debido a que el orden social juega un papel importante en determinar el acceso de un animal a la unidad de ordeño robótica, donde las vacas de menor jerarquía esperan más tiempo para ingresar que aquellas de mayor jerarquía. A pesar de ello se reporta que las vacas de primera lactancia se adaptan más rápido al robot acercándose con más frecuencia al patio de espera (Scott et al., 2014, Tremblay et al., 2016), sin que esto se traduzca en una mayor producción de leche. Además, existe escasa literatura científica para explicar la interacción entre el sistema de ordeño y el número de partos en cuanto a la producción de leche. Se sabe que aumenta la producción de leche en $2,6 \text{ kg día}^{-1}$, en vacas con 5 o más partos en las ordeñas robotizadas, debido posiblemente

a que las vacas ordeñadas más de dos veces al día y con mayor tiempo en ordeña mantienen un mejor estado productivo y de salud mamaria con el uso de una ordeña robotizada (De Marchi *et al.*, 2016). Si bien este estudio mostró una tendencia productiva mayor en las vacas de primer parto y en vacas sobre 7 partos los datos analizados no son concluyentes y se requiere mayores estudios.

En cuanto a la composición nutricional (cantidad de grasa y proteína) y calidad microbiológica (RCS) de la leche, se puede observar en este estudio diferencias significativas ($p < 0,05$) para la grasa y el RCS, pero no en el porcentaje y en la cantidad (kg) de proteína ($p > 0,05$).

Estudios reportados no muestran diferencias significativas al comparar el RCS en un sistema robotizados con respecto a la ordeña convencional o bien se reporta una disminución de células somáticas después del cambio a un sistema robotizado. Esto posiblemente debido a que las vacas tienen la opción de elegir el momento del ordeño, teniendo como efecto que el animal mantenga una buena sanidad de la glándula mamaria, especialmente en vacas de alta producción (De Marchi *et al.*, 2016). Encuestas realizadas a productores lecheros que cambiaron de un sistema de ordeña convencional a robotizada, reportaron un mantenimiento o disminución del RCS, señalando que los aumentos ocurren en los primeros 2 años de la introducción del sistema robótico y luego disminuyen considerablemente por la adaptación de los animales al nuevo sistema de ordeño (Tse *et al.*, 2018). Ello debido posiblemente a la mayor frecuencia de la ordeña, lo que tendría un efecto de barrido de la flora bacteriana. Otros reportes indican que los niveles más altos de células somáticas se presentan durante los 12 meses posterior a la instalación del sistema robótico, atribuyendo esto al impacto negativo que tiene el cambio de un tipo de ordeña a otro, debido principalmente

a la adaptación al nuevo sistema, no solo de los animales, sino también de los productores y personal de lechería. El robot es un equipo altamente tecnológico que requiere mano de obra profesional y técnica calificada, que lleve a cabo el buen funcionamiento y mantenimiento del equipo de acuerdo con las especificaciones del fabricante (Alhussien y Dang, 2018). En este sentido, quizás el aumento en el RCS en este estudio se debió a esta fase de adaptación al nuevo sistema por parte de los operarios de la lechería.

Por otro lado, el aumento del RCS se encontraría relacionado con la disminución de la producción de leche, debido a que si ocurre una infección durante la lactancia temprana, antes de que la vaca alcance su producción máxima, este nivel productivo nunca será igual al obtenido previo a la infección, lo cual estaría asociado al daño físico que sufren las células epiteliales productoras de leche, que disminuyen la capacidad de secreción y síntesis de la glándula mamaria (Alhussien y Dang, 2018). Por todo lo anterior, sería mejor seguir con el control lechero mensual rutinario al menos el primer año de cambio al nuevo sistema de ordeño, con el objetivo de contrastar los datos de RCS de éste control con los datos de RCS que entrega el Robot, ya que estos sistemas tendrían una variación de precisión de al menos un 20 % favorable al control lechero; sin embargo, en este estudio los datos de RCS entregados por el robot fueron comparados con el reporte quincenal del RCS entregada por la planta lechera, no observándose mayor variación, pero se necesita mayores estudios.

Es importante tener en cuenta que el precio pagado por L de leche que reciben los productores por parte de la planta depende de las condiciones que establezca la pauta de pago definida por las empresas (NESTLE, 2020) que consideran los parámetros de: características nutricionales, sanitarias (control de leucosis, brucelosis y tuberculosis bovina) y microbio-

lógicas de la leche, entre otras, requeridas en óptimas condiciones para elaborar productos lácteos. Los esquemas de pago son cada vez más exigentes, consideran un precio base sobre el cual se fijan bonificaciones o descuentos según los rangos en que se encuentren los niveles de RCS. Por lo tanto, las exigencias en calidad microbiológica, sanitaria y nutricional de la leche han obligado a los productores a mejorar sus procesos de control sanitario para obtener mejores ingresos económicos (Carrillo et al., 2010), situación que se controlaría bastante en la ordeña robotizada al existir un monitoreo diario del RCS.

En Nueva Zelanda se reporta que el sistema productivo influye de un 16 % a un 50 % en la cantidad total de grasa y proteína en leche, no así el tipo de ordeña, la cual presenta una influencia baja en estos parámetros productivos (Woodford et al., 2015). Sin embargo, hay estudios donde se muestran diferencias significativas en los sólidos grasos al comparar 2 y 3 ordeñas diarias, siendo más bajos estos sólidos en rebaños con una frecuencia de ordeña día⁻¹ mayor a 3 (Smith et al., 2002). Por el contrario, De Marchi et al. (2016) obtuvieron un contenido de grasa significativamente mayor en sistema robotizado, observándose las mayores diferencias en los primeros 80 días, mientras que las menores diferencias se dan después de los 260 días de lactancia. Este aumento se atribuye a la mayor frecuencia de ordeña o a los intervalos cortos de ordeño, los cuales estarían asociados con la formación de glóbulos grasos más susceptibles a lipólisis, la cual se ve favorecida por los manejos de enfriamiento de la leche que genera ruptura de la membrana de estos provocando un aumento de ácidos grasos libres. Sin embargo, Johansson et al. (2017) no encontraron diferencia significativa en el contenido de grasa señalando que estas diferencias están más asociadas a problema de mastitis clínica, que en nuestro estudio no superó el 5 % de incidencia en el rebaño.

El contenido de proteína en leche obtenido por Johansson et al. (2017) fue menor para el sistema de ordeña robotizado, esta disminución se relacionaría a una mayor frecuencia de ordeña, sobre los 3 ordeños día⁻¹, pero no existiría relación entre el tipo de sistema productivo y el contenido de proteínas en leche (Smith et al., 2002). Por el contrario, De Marchi et al. (2016) no encontraron diferencias significativas en el porcentaje de proteínas, pero reportan un porcentaje mayor y menor al inicio y término de la lactancia respectivamente, comparado con un sistema convencional de ordeño a confinamiento.

Conclusiones

El sistema robotizado presentó significativamente ($p > 0,05$) una mayor producción de leche ($24,18 \pm 2,76$ L) y de grasa ($4,12 \pm 0,34$ %) en relación a la ordeña convencional ($22,62 \pm 4,16$ L y $4,03 \pm 0,39$ % de grasa). Por otro lado el RCS fue significativamente mayor ($p > 0,05$) en la ordeña robotizada ($221,56 \pm 62,96 \times 10^3$ cel. ml⁻¹) en relación a la convencional ($213,56 \pm 94,88 \times 10^3$).

Agradecimientos

Agradecemos la disposición del productor lechero por facilitar los datos productivos del plantel lechero de la provincia de la Unión, en Chile.

Referencias bibliográficas

Alhussien MN, Dang AK (2018). Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. *Veterinary World* 11(5): 562-577. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.562-577>

- Amtmann CA, Blanco GW (2001). Efectos de la salmonicultura en las economías campesinas de la Región de Los Lagos, Chile. *Revista Austral de Ciencias Sociales* 5: 93-106. <https://doi.org/10.4206/rev.austral.cienc.soc.2001.n5-09>
- Avilez-Ruiz JP, Escobar P, Díaz C, Von Fabeck G, Matamoros R, García F, Alonzo M, Delgado-Pertíñez M (2012). Effect of extruded whole soybean dietary concentrate on conjugated linoleic acid concentration in milk in Jersey cows under pasture conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10: 409-418. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-341-11>
- Avilez-Ruiz JP, von Fabeck G, García-Gómez F, Alonzo M, Delgado-Pertíñez M (2013). Conjugated linoleic acid content in milk of Chilean Black Friesian cows under pasture conditions and supplemented with canola seed (*Brassica napus*) concentrate. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11(3): 747-58. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013113-3639>
- Bach A, Iglesias C, Calsamiglia S, Devant M (2007). Effect of amount of concentrate offered in automatic milking systems on milking frequency, feeding behavior, and milk production of dairy cattle consuming high amounts of corn silage. *Journal of Dairy Science* 90(11): 5049-5055. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0347>
- Balocchi L, Teuber N (2003). Recursos forrajeros en producción de leche. II. Novedades en gramíneas y leguminosas forrajeras. En: Seminario hagamos de la lechería un mejor negocio. Serie Actas INIA 24 (Ed. Teuber N, Uribe H, Opazo L). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Gobierno de Chile.
- Carrillo BL, Rosas DM, Moreira H, Lerdon JR (2010). Esquemas de pago de leche en el sur de Chile: precio mínimo y máximo a productor. *Idesia (Arica)* 28(3): 61-67. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000300008>
- Carrillo BL, Moreira V, González J (2011). Caracterización y tipificación de sistemas productivos de leche en la zona centro-sur de Chile: un análisis multivariable. *Idesia (Arica)* 29(1): 71-81. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000100010>
- Clark CEF, Farina SR, Garcia SC, Islam MR, Kerrisk KL, Fulkerson WJ (2015). A comparison of conventional and automatic milking system pasture utilization and pre- and post-grazing pasture mass. *Grass and Forage Science* 71: 153-159. <https://doi.org/10.1111/gfs.12171>
- De Marchi M, Penasa M, Cassandro M (2016). Comparison between automatic and conventional milking systems for milk coagulation properties and fatty acid composition in commercial dairy herds. *Italian Journal of Animal Science* 16(3): 363-370. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1292412>
- Hogeveen H, Heemskerk K, Mathijs E (2004) Motivations of Dutch farmers to invest in an automatic milking system or a conventional milking parlour. En: *Automatic Milking A Better Understanding* (Ed. Meijering A, Hogeveen H, de Koning CJAM), pp. 56-61. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Holloway L, Bear C, Wilkinson K (2014). Re-capturing bovine life: Robotecow relationships, freedom and control in dairy farming. *Journal of Rural Studies* 33: 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.01.006>
- Jiang H, Wang W, Li C, Wang W (2017). Innovation, practical benefits and prospects for the future development of automatic milking systems. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 4(1): 37-47. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2016117>
- Johansson M, Lundh A, De Vries R, Sjaunja KS (2017). Composition and enzymatic activity in bulk milk from dairy farms with conventional or robotic milking systems. *Journal of Dairy Research* 84: 154-158. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000140>
- Klei LR, Lynch JM, Barbano DM, Oltenacu PA, Lednor AJ, Bandler DK (1997). Influence of milking three times a day on milk quality. *Journal of Dairy Science* 80: 427-436. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75954-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75954-X)
- Lyons NA, Kerriks KL, Garcia SC (2014). Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. *Livestock Science* 159: 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.011>

- Mollenhorst H, Hidayat MM, Van den Broek J, Neijenhuis F, Hogeveen H (2011). The relationship between milking interval and somatic cell count in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science* 94: 4531-4537. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4244>
- Navarro H (2006). Antecedentes de la producción de leche en el sur de Chile. En: Manual de producción de leche para pequeños y medianos productores. Boletín INIA 148 (Ed. Navarro H, Siebald E, Celis S), pp. 7-16. INIA Remehue, Osorno, Chile.
- NESTLE (2020). Pauta de pago año 2020. Disponible en https://www.productoresnestle.cl/pages/pautas_pago (Consultado: 30 abril 2020).
- NRC (2001). Nutrient requirements of dairy cattle, 7th rev ed. National Academy Press, National Research Council. Washington DC, USA. 381 pp. <https://doi.org/10.17226/9825>
- ODEPA (2017). Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: Boletín de la leche. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/Boletin-de-la-leche-2017.xls> (Consultado: 15 noviembre 2019).
- Pino San Martín F (2018). La rentabilidad lechera puede manejarse en gran medida mediante la nutrición y alimentación (1° parte). Disponible en: Revista DLeche <https://dleche.cl/es/2018/04/10/la-rentabilidad-lechera-puede-manejarse-en-gran-medida-mediante-la-nutricion-y-alimentacion-1-parte/> (Consultado: noviembre 2019).
- Rodenburg J (2017). Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science* 100: 7729-7738. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11715>
- Salfer J, Endres M, Lazarus W, Minegishi K, Berning B (2017) Dairy robotic milking systems – what are the economics? Disponible en: <https://dairy-cattle.extension.org/dairy-robotic-milking-systems-what-are-the-economics/> (Consultado: 12 enero 2020).
- Scott VE, Thomson PC, Kerrisk KL, Garcia SC (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>
- Smith J, Ely L, Graves W, Gilson W (2002). Effect of Milking Frequency on DHI Performance Measures. *Journal of Dairy Science* 85(12): 3526-3533. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74442-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74442-1)
- Svennersten-Sjaunja KM, Pettersson G (2008). Pros and cons of automatic milking in Europe. *Journal of Animal Science* 86: 37-46. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0527>
- Tremblay M, Hess JP, Christenson BM, McIntyre KK, Smink B, Van der Kamp AJ, De Jong LG, Döpfer D (2016). Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *Journal of Dairy Science* 99(5): 3824-3837. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10152>
- Tse C, Barkema H, De Vries T, Rushen J, Pajor E (2018). Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality. *The Animal Consortium* 12(12): 2649-2656. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000654>
- Valenzuela B (2017). Relación costo/beneficio para el desarrollo de una mejora continua en seguridad y salud en el trabajo en la empresa Agrícola Ancali Ltda'. Seminario de titulación para optar al título de Ingeniero en Prevención de riesgos, Universidad de Concepción, Chile. <http://152.74.17.92/handle/11594/2329>
- Woodford KB, Brakenrig Hz, Pangborn MC (2015). New Zealand case studies of automatic-milking-systems adoption. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 75: 127-131.

(Aceptado para publicación el 11 de junio de 2020)