



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados



**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS EVENTOS DE SALUD
EN VACAS LECHERAS**

Fernando M. Masía

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2021



**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LOS EVENTOS DE SALUD
EN VACAS LECHERAS**

Fernando M. Masía

Comisión Asesora de Tesis

Directora: Dra. Mónica B. Piccardi

Codirector: Dr. R. Luzbel de la Sota

Asesora: Dra. Mariana Larrauri

AGRADECIMIENTOS

En esta tesis se condensan poco más de 4 años de trabajo que bajo ningún punto de vista hubiese sido posible sin el afecto y ayuda de muchas personas que, de distintas formas, estuvieron presentes.

En primer lugar, quisiera agradecer a las personas que me guiaron constantemente en este proceso, Moni Piccardi, Luzbel y Moni Balzarini. Gracias por enseñarme, por su paciencia y dedicación. Fue un honor para mí descubrir el mundo de la investigación científica de la mano de ustedes.

Quisiera agradecer a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por darme la posibilidad de hacer factible este trabajo.

También agradecer a Sebastián Wirsch, quien no sólo me facilitó la base de datos para poder realizar el presente trabajo, sino que además dedicó su tiempo y conocimientos cuando se lo pedí.

A todo el maravillosos MC Franklin Lab. A Yani, Sab, Nico, Juan, Juani y Augusto de quienes guardo hermosos recuerdos de mi estadía en Australia. Gracias por regalarme su amistad y ayudarme a superarme permanentemente a pesar de haber compartido relativamente poco tiempo.

Me gustaría agradecer a mis compañeras de trabajo, Mari y Lu, quienes siempre se mostraron predispuesta a ayudarme con lo que sea.

A mis amigos de la vida, Gastón, Pablito, Bruno, Nacho, Mati, Santi y Fran, por hacerme saber que siempre voy a poder contar con ustedes.

También quiero agradecer a mi familia, a mis padres y mis dos hermanos. Ellos me dieron la oportunidad de poder estudiar, conteniéndome y brindándome su amor incondicional. Su felicidad de verme cumplir objetivos es, de igual manera, mi felicidad.

Finalmente, a mi compañera en todas mis aventuras y locuras. Mili, absolutamente nada de esto hubiera sido posible sin tu soporte, compañía y paciencia. Gracias por ser el motor que me impulsaba día tras día. Por tu amor sincero, contención y por ayudarme a ser mejor persona constantemente.

Es un buen momento para empezar a devolver, aunque sea un poco, de lo que recibí de todos ustedes.

A mi familia por su apoyo incondicional.

RESUMEN

El análisis sistemático de los registros productivos y sanitarios puede ayudar a los técnicos y operarios a que enfoquen los recursos en los factores que más incidencia negativa tienen sobre la rentabilidad de los tambos. El objetivo de esta tesis es implementar herramientas analíticas para estimar el impacto que tienen los eventos de salud sobre el desempeño productivo y reproductivo en rodeos lecheros de Argentina. Se analizó una base de datos que contiene información de 72 tambos comerciales pertenecientes a las provincias de Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos. Para los diferentes tipos de sistemas de producción, se obtuvieron indicadores productivos y reproductivos a través de diversas metodologías estadísticas tales como el ajuste de modelos lineales y no lineales, análisis de sobrevida, regresión de riesgos proporcionales de Cox, regresiones logísticas, como así también análisis multivariados. Algunos de los indicadores de eficiencia productiva estimados fueron días al pico, producción al pico y los parámetros asociados al ajuste de curvas de lactancia, teniendo en cuenta la presencia o no de eventos sanitarios. Por otro parte, los indicadores de eficiencia reproductiva estimados fueron probabilidades de preñez, descarte y aborto. Los indicadores obtenidos, para cada sistema productivo, se utilizaron como variables de ingreso en un modelo bioeconómico orientado a estimar el costo reproductivo por vaca contemplando las afecciones sanitarias. Se encontró que, aquellos establecimientos que tuvieron lactancias con menos afecciones sanitarias presentaron una ganancia extra por vaca por año que ascendió a 71,57 dólares para los sistemas estabulados, 164,27 para los sistemas de encierre permanente y 106,59 para los sistemas pastoriles, en comparación con la mediana de los tambos. Finalmente, los procedimientos para derivar indicadores de eficiencia productiva también fueron usados en rodeos que se encontraban bajo sistemas de ordeñados automáticos con el objetivo de describir vacas individuales con producciones diarias de leche e intervalo entre ordeños contrastantes, como un medio para identificar vacas que son más eficientes.

Palabras clave: indicadores de eficiencia, curvas de lactancia, curvas de sobrevida, modelo bioeconómico, sistemas de ordeño automático.

ABSTRACT

The analysis of production and health records can help dairy farmers and operators direct resources to the aspects that have the greatest negative impact on the profitability of dairy companies. The objective of this thesis is to implement analytical tools to estimate the impact of health events on productive and reproductive performance in dairy herds in Argentina. A database containing information about 72 commercial dairy farms from the provinces of Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe and Entre Ríos was analysed. For the different types of production systems, productive and reproductive indicators were obtained through various statistical methodologies such as the adjustment of linear and non-linear models, survival analysis, Cox proportional hazards model, logistic regressions, as well as multivariate analysis. Some of the estimated productive efficiency indicators were days at peak, production at peak, and the parameters associated with the adjustment of lactation curve, taking into account the presence or absence of health events. On the other hand, the estimated reproductive efficiency indicators were pregnancy, culling and abortion probabilities. The indicators obtained, for each production system, were used as income variables in a bioeconomic model aimed at estimating the reproductive cost per cow considering health conditions. It was found that those farms that had lactations with fewer sanitary diseases presented an extra profit per cow per year that amounted to 71.57 dollars for the freestall systems, 164.27 for those with dry-lot and 106.59 for the grazing systems, compared to the median of the dairy farms. Finally, the procedures for obtaining indicators of productive efficiency were also used in herds that were under automatic milking systems with the objective of describing individual cows with contrasting daily milk productions and interval between milkings in order to identify cows that are more efficient.

Key words: performance indicators, lactation curve, survival curves, bioeconomic model, automatic milking system.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
PRODUCCIÓN DE LECHE EN ARGENTINA	1
INDICADORES DE EFICIENCIA	3
METRICAS PARA EL TAMBO	6
HIPÓTESIS	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
CAPÍTULO 2	10
CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS LECHEROS DE ARGENTINA	10
INTRODUCCIÓN	10
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Datos	14
Indicadores productivos. Ajuste de curvas de lactancia.	15
Indicadores reproductivos	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
Indicadores productivos	18
Eficiencia reproductiva	21
Otros indicadores	28
CONCLUSIONES	30
CAPÍTULO 3	32
EFFECTO DE EVENTOS SANITARIOS SOBRE INDICADORES REPRODUCTIVOS Y PRODUCTIVOS EN RODEOS LECHEROS DE ARGENTINA	32
INTRODUCCIÓN	32
MATERIALES Y MÉTODOS	34
Datos	34
Análisis sanitario	34
Aspectos productivos	35
Aspectos reproductivos	36

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
Ocurrencia de enfermedades	37
Producción de leche	40
Días vacíos y días a descarte	42
CONCLUSIONES	45
CAPÍTULO 4	46
EVALUACION ECONOMICA BASADA EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS.	46
INTRODUCCIÓN	46
MATERIALES Y MÉTODOS	49
Estimación de probabilidad	50
Estimación de indicadores productivos	52
Determinación de valores económicos	52
Ajuste del modelo bioeconómico	54
Costos de tratamiento	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
Probabilidad de preñez	55
Probabilidad de aborto	57
Probabilidad de descarte	59
Indicadores productivos	61
Costos de tratamientos	63
Modelo bioeconómico	63
Evaluación económica	65
CONCLUSIONES	66
CAPÍTULO 5	68
METRICAS PRODUCTIVAS EN SISTEMAS DE ORDEÑO AUTOMÁTICO	68
INTRODUCCIÓN	68
MATERIALES Y MÉTODOS	70
Datos	70
Análisis estadístico	71
RESULTADOS	73
Intervalos entre ordeños y producción diaria de leche	73

Caracterización de las curvas de lactancia estimadas	74
Producción al pico, días al pico y producción acumulada a los 305 días en lactancia	76
DISCUSIÓN	78
CONCLUSIONES	83
CAPÍTULO 6	84
CONCLUSIONES GENERALES	84
IMPLICANCIA DE LOS EVENTOS SANITARIOS EN RODEOS LECHEROS	86
RELEVANCIAS DE LAS CONTRIBUCIONES	87
FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION	89
BIBLIOGRAFÍA CITADA	90
ANEXO 1	110
Código SAS para el ajuste de las curvas de lactancia según Wood	110
Código SAS para el ajuste de las curvas de lactancia según MilkBot	110
Valores iniciales	110
ANEXO 2	111
Salidas modelo bioeconómico	111
Tablas de vida estimadas	113
ANEXO 3	132
Formulario online para determinación de costos	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Estimaciones de parámetros para curvas de lactancias ajustadas con el modelo de la función Gamma Incompleta (Wood). El modelo fue ajustado para las distintas categorías animal (primíparas y multíparas) como modelo mixto con efectos aleatorio asociado al parámetro a . Las estimaciones se hicieron para cada sistema productivo analizado.	20
Tabla 2.2. Indicadores reproductivos estimados para tres sistemas productivos.	22
Tabla 2.3. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) asociados según el sistema productivo.	23
Tabla 2.4. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para distintas categorías animal asociados según el sistema productivo.	24
Tabla 2.5. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para primíparas categorizado por la eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.	26
Tabla 2.6. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para multíparas categorizado por la eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.	28
Tabla 3.1. Estimaciones de los parámetros de la lactancia para animales con al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES) durante toda la lactancia. Curvas ajustadas como modelo mixto con efecto aleatorio asociado al parámetro a para el modelo de Milkbot.	41
Tabla 3.2. Producción acumulada a los 305 días en leche (305PL) y producción al pico de lactancia (Ppico) para animales con al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES) durante toda la lactancia.	41
Tabla 4.1. Valores de mercado para la situación económica Argentina del mes de junio del año 2021 ¹ .	53
Tabla 4.2. Parámetros para el cálculo del costo de la alimentación (\$/kgMS promedio).	54
Tabla 4.3. Costos e ingresos por vaca por año (\$/vaca/año) para cada sistema productivo.	64

Tabla 4.4. Costos e ingresos por vaca por año (\$/vaca/año) para cada sistema productivo contemplando lactancias que presentaron al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES).	65
Tabla 4.5. Comparación de medias entre lactancias con evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES).	65
Tabla 4.6. Retorno neto por vaca por año para diferente porcentaje de lactancias con al menos un evento sanitario para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril.	66
Table 5.1. Tambos comerciales con tecnología AMS utilizados en este estudio.	71
Tabla 5.2. Promedio, error estándar y lactancias analizadas para el tercil superior e inferior de la producción diaria de leche (PL) y de intervalo de ordeño (IO) según categoría animal y tambo.	74
Table 5.3. Criterios de ajuste para tres modelos de curvas de lactancia (Wood, MilkBot y el modelo Difásico) como modelo mixto con efecto aleatorio “vaca” asociado al parámetro relacionado con la magnitud de la producción de leche (parámetro a).	75
Table 5.4. Estimaciones de los parámetros del modelo de Wood (promedio \pm EE) para primíparas y multíparas para todos los rodeos.	75
Table 5.5. Estimaciones de parámetros del modelo Wood para primíparas y multíparas.	75
Table 5.6. Parámetros estimados para curvas de lactancias según el nivel productivo de la vaca (PL) y el largo del intervalo entre ordeños (IO).	77

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1. Curvas de lactancia ajustadas para los sistemas productivos de tipo estabulado (A), encierre (B) y pastoril (C) para las categorías animal analizadas (primíparas y multíparas). 19
- Figura 2.2. Curva de sobrevida de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para lactancias de distintos sistemas productivos. 22
- Figura 2.3. Curva de sobrevida de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para primíparas (A) y multíparas (B) de distintos sistemas productivos. 24
- Figura 2.4. Curva de sobrevida de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para primíparas de alta (A) y baja (B) eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos. 26
- Figura 2.5. Curva de sobrevida de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para multíparas de alta (A) y baja (B) eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos. 27
- Figura 2.6. Distribución de frecuencia del número de lactancias de la población analizadas discriminadas por sistema productivo. 29
- Figura 2.7. Distribución de frecuencia de muertes en los meses posteriores al parto de la población analizadas discriminadas por sistema productivo. 30
- Figura 3.1: Casos acumulados de primeros eventos sanitarios clínicos registrados en el estudio para cada mes posterior al parto. Para mastitis clínica, se consideró un nuevo episodio en el mismo cuarto de la ubre luego de 14 días. 38
- Figura 3.2: Porcentajes acumulados de primeros eventos sanitarios clínicos registrados en el estudio para cada mes posterior al parto. Para mastitis clínica, se consideró un nuevo episodio en el mismo cuarto de la ubre luego de 14 días. 38
- Figura 3.3. Curvas de sobrevida de Kaplan-Meier para la preñez de vacas con al menos un evento sanitario (CES; mediana=181) y sin eventos sanitarios (SES; mediana=126) durante toda la lactancia. 43

- Figura 3.4. Curvas de sobrevivencia de Kaplan-Meier para descarte o muerte de vacas con al menos un evento sanitario (CES; mediana=518) y sin eventos sanitarios (SES; mediana=563) durante toda la lactancia. 43
- Figura 4.1. Riesgo de preñez para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril). 57
- Figura 4.2. Probabilidad de aborto para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril). 59
- Figura 4.3. Riesgo de descarte para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril). 61
- Figura 4.4. Curvas de lactancia ajustadas para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril). 62
- Figure 5.1. Curvas de lactancia estimadas según nivel de producción (producción diaria de leche, PL) y duración del intervalo entre ordeños (IO) para vacas primíparas (A) y multíparas (B). Línea de puntos = alta PL y corto IO; línea sólida = alta PL y largo IO; línea discontinua = baja PL y corto IO; línea punteada = baja PL y largo IO. 78

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

%A200: Porcentaje de animales no preñados a los 200 días de lactancia.

%PrIA80d: Porcentaje de inseminaciones artificiales a los 80 días de lactancia.

305PL: Producción de leche estimada a 305 días de lactancia.

AIC: Criterio de información de Akaike.

AMS: Sistema de ordeño automático.

BIC: Criterio bayesiano de Schwarz.

BLUP: Mejor predictor lineal insesgado.

CES: Con evento sanitario.

CMS: Sistema de ordeño convencional.

d: Día.

DC: Detección de celo.

DEL: Días en lactancia.

Dpico: Días al pico de lactancia.

DV: Días vacíos.

EE: Error estándar.

ER: Eficiencia reproductiva.

IA: Inseminación Artificial.

IO: Intervalo entre ordeños.

kg: Kilogramos.

KgMF: Kilogramos de materia fresca.

KgMS: Kilogramos de materia seca.

l: Litros.

MedII: Mediana del tiempo a la primera inseminación.

Nserv: Número de servicios.

PEV: Periodo de espera voluntario.

PL: Producción de leche.

Ppico: Producción en el pico de lactancia.

SES: Sin eventos sanitarios.

TP: Tasa de preñez.

USD: Dólar estadounidense.

INTRODUCCIÓN GENERAL

PRODUCCIÓN DE LECHE EN ARGENTINA

Los pronósticos actuales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) apuntan a una expansión en la producción y el comercio de leche y productos lácteos, a pesar de los probables efectos negativos de la pandemia de covid-19 en la producción y comercialización en algunas partes del mundo. La producción mundial de leche para 2021 se pronostica en 921 millones de toneladas, esto significa un aumento del 1,6% con respecto al año 2020. Liderando este crecimiento se encuentra Asia, seguida de América del Norte, Europa, América del Sur, Oceanía, América Central y el Caribe y África. El aumento del número de rodeos lecheros en India y Pakistán y el desarrollo en la escala de los tambos en China sustentan el crecimiento de Asia. El aumento de la producción de leche y de los rodeos lecheros, junto con la mayor adopción de tecnología, apuntalan las probables expansiones de la producción en la mayoría de los países de América. Por su parte, mejores condiciones climáticas pueden reducir los crecientes costos de la producción de forraje, incentivando de esta manera la producción de leche en la Unión Europea y Oceanía. El comercio mundial de productos lácteos se pronostica en 88 millones de toneladas (en equivalentes de leche) en 2021, con una mayor concentración de importaciones en Asia, especialmente China. Las perspectivas de crecimiento económico para 2021 y la apreciación real del yuan, produciría un aumento en el consumo per cápita y expandiría la base de consumidores. Esto explica gran parte del crecimiento anticipado de la demanda de importaciones en China. También se espera que Brasil, México, Indonesia y Malasia, entre otros, importen más productos lácteos. No obstante, es probable que se produzcan reducciones generalizadas de las importaciones en

otros lugares, derivadas de las recesiones económicas asociadas a la pandemia de covid-19 (FAO, 2021).

En Argentina, el sector lácteo orienta aproximadamente el 80% de su producción al consumo interno y 20% a exportaciones. Por ello, el consumo doméstico (determinado en gran parte por el nivel de ingresos) y la demanda externa son dos de los principales determinantes de la producción en el país, además del precio de los lácteos que determina la rentabilidad tambora. En gran medida, la rentabilidad principalmente entre otros aspectos, determinó que la cantidad de unidades productivas en Argentina evidenciara un retroceso en los últimos años. En 1988 la cantidad de establecimientos que producían leche en Argentina alcanzaba el valor de 30.131 pasando a contabilizar 10.446 establecimientos en el año 2021 (datos publicados por el Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2021). El sector lácteo, tiene una tradicional importancia en la producción agropecuaria y agroindustria en Argentina. Es responsable de generar 33.936 puestos de trabajo, contabilizados como empleo registrado, lo que representa un 0,53% de participación sobre el empleo privado total registrado. El valor bruto de la producción láctea sobre el valor bruto de la producción industrial manufacturera es del 3,92%. Según la FAO, debido a sus condiciones nutritivas, la leche es un alimento ideal por excelencia para el desarrollo humano y para combatir la desnutrición infantil (FAO, 2021).

En el año 2020, Argentina alcanzó los 11.113 millones de litros de producción de leche (+7,4% respecto al año 2019). La producción de leche en Argentina está concentrada mayoritariamente en las provincias de Córdoba (32,9%), Santa Fe (31,7%) y Buenos Aires (27,4%), y en menor medida en Entre Ríos (4,4%), Santiago del Estero (1,4%) y La Pampa (1,1%), a lo que se suma alguna participación marginal del resto de las provincias no pampeanas. En relación con la estratificación por tamaño de los tambos, Argentina no escapa a un fenómeno mundial que describe una concentración de la producción que conduce a pocos tambos cada vez de mayor tamaño. Como consecuencia, el 71,6% de los tambos producen menos de 3.000 litros/día y representan el 33,6% de la producción total, mientras que las unidades de más de 10.000 litros/día son el 3,7% del total, pero

representan el 23,2 % de la producción (datos publicados por la Dirección Nacional de Lechería, 2021). A partir de la encuesta sectorial publicada por Gastaldi et al. (2020), la caracterización de los establecimientos productivos determina una superficie media de 181 hectáreas con un mínimo de 23,5 y un máximo de 1.100 hectáreas. El tamaño medio del rodeo es de 177 vacas totales, con 144 vacas ordeño y 33 vacas secas. Por otra parte, la principal raza utilizada para la producción de leche es la Holando, presentándose en un 78% de los casos como rodeo único. Un 22% utiliza cruzamientos preferentemente con Jersey, estrategia productiva más habitual en las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, y en tambos con rodeos más chicos. La producción diaria individual fue de 18,5 con máximo de 31,3 litros por vaca por día. En lo referido al aspecto sanitario predominan rodeos libres de brucelosis y tuberculosis. No obstante, existe un 10% de establecimientos en saneamiento. La mayoría de los productores tiene como estrategia reproductiva el servicio continuo (71%), valiéndose de la inseminación artificial. El 40% de estos establecimientos usó semen sexado (parcial o totalmente).

INDICADORES DE EFICIENCIA

Las medidas de eficiencia indican la cantidad de producto que resulta de un proceso orientado a transformar una asignación determinada de recurso y convertirlo en un elemento nuevo con apropiado retorno neto. Así mismo, para interpretar una medida de eficiencia, es esencial conocer el propósito para el cual fue calculada y la expresión o procedimiento exacto empleado para su cálculo. Los indicadores métricos de la eficiencia se diseñan para cumplir al menos con dos propósitos fundamentales: comprensión del funcionamiento de las interacciones entre variables involucradas en el sistema que se analiza y para contrastar procesos o sistemas con el mismo indicador de eficiencia.

Los establecimientos dedicados a la producción de leche, para su gestión, utilizan información actualizada para monitorear su actividad y planificar acciones de impacto en el éxito del sistema productivo lechero. Esta información, expresada en forma de

indicadores, debería reflejar fielmente lo que ocurre en el tambo, permitir ordenar los recursos y también, servir de referencia para saber dónde se ubica cada establecimiento. A pesar de que la mayoría de los tambos obtiene registros sistemáticos, tanto de aspectos productivos como reproductivos, es poco frecuente que estos registros se usen para calcular indicadores, y cuando se realiza, la multiplicidad de protocolos de análisis estadístico impide su uso comparativo. Consecuentemente, es necesario unificar la forma de calcular e interpretar los indicadores productivos y reproductivos para que se constituyan en herramientas de valor para la gestión. Los indicadores de eficiencia deben mostrar en forma simple y didáctica los logros y objetivos de cada acción que se propone en un sistema de producción láctea para que éstas puedan ser fácilmente entendibles y evaluadas. Los indicadores reproductivos deben permitir hacer estimaciones precisas del comportamiento reproductivo tanto global del rodeo lechero como así también de cada animal en particular sin dejar de abordar la eficiencia en la producción de leche. Además, deben ser simples de obtener y calculables a partir de datos que existan en el tambo y también deben relacionarse con la rentabilidad de rodeo. Por otro lado, deben ser principalmente fáciles de comprender por parte de las personas que tienen la responsabilidad de ejecutar las prácticas necesarias para cumplir con los objetivos del establecimiento lechero. Finalmente, los indicadores deben informar qué proporción del rodeo lechero está cumpliendo con los objetivos del sistema y qué proporción está fallando. Además, el bajo desempeño tanto productivo como reproductivo se traduce en pérdidas para los productores lecheros.

La tendencia mundial hacia la automatización de procesos para reducir esfuerzos físicos y costos ha alcanzado a la lechería. Si bien el desarrollo de herramientas para automatizar la producción y su registro, como por ejemplo los lactómetros electrónicos individuales, no es nuevo, el concepto “lechería de precisión” es bastante reciente y se relaciona con grandes volúmenes de datos de diverso tipo. El uso de tecnologías que permiten la medición de indicadores fisiológicos, de comportamiento y de producción en animales con el objetivo de mejorar las estrategias de manejo y el desempeño del ganado constituyen lo que hoy se denomina como ganadería de precisión (Borchers y Bewley, 2015). El adjetivo precisión mucho se relaciona con las tecnologías de monitoreo en

tiempo real destinadas a gestionar la variabilidad de unidades de producción más pequeñas y manejable es decir con “el enfoque por animal” (Halachmi y Guarino, 2016). La ganadería de precisión comprende el uso coordinado de sensores para medir parámetros fisiológicos, de comportamiento y de producción en animales y las características del entorno de los establecimientos (temperatura, humedad, vientos) y de las tecnologías de información y comunicación para intercambiar, almacenar, transformar y restaurar estos datos a los productores para que, junto con sus propias observaciones, se cuente con un escenario de menor incertidumbre a la hora de la toma de decisiones. La ganadería de precisión aplicada a la producción de leche se conoce como la lechería de precisión. Teniendo en cuenta nuestra limitada capacidad de observación para identificar inconvenientes, tales como animales enfermos, en celo o con cojeras, es que los principales objetivos de la lechería de precisión son maximizar el potencial individual del animal, detectar tempranamente enfermedades y minimizar el uso de medicamentos mediante medidas preventivas. Por lo tanto, se puede afirmar que es inherentemente un campo interdisciplinario que incorpora conceptos de informática, bioestadística, etología, economía, ganadería, nutrición animal e ingeniería (Spilke y Fahr, 2003). En una primera instancia, las variables relacionadas con animales deben medirse y analizarse continuamente a un nivel y frecuencia apropiados con la ayuda de sensores. Estas variables incluyen peso vivo, cantidad de alimentos ingeridos, comportamiento ingestivo (masticación, rumia, frecuencia de bocados) y comportamiento social. También se pueden medir los parámetros fisiológicos (temperatura corporal y pH, composición de la leche y características fisicoquímicas). Posteriormente, debemos implementar un modelo predictivo confiable (calculado por un modelo estadístico) de las reacciones de los animales a las condiciones ambientales (dieta, clima, prácticas de manejo). Así, se tendría que poder identificar animales que tienen problemas y requieran particular atención. La utilidad de estas tecnologías no sólo resulta de la reducción de la carga de trabajo del productor, sino de la información constante y en tiempo real que pueden proporcionar y que permiten detectar situaciones anómalas de forma precoz, disminuyendo de esta manera el tiempo de respuesta y, con ello, reduciendo los costos derivados de tratamientos sanitarios, la pérdida de producción o la eliminación de animales irrecuperables. Por otra

parte, si bien los datos en tiempo real se pueden usar para monitorear animales y generar reportes, esto es útil si se lo emplea de manera efectiva en la toma de decisiones. Los sistemas de información computarizados e integrados son esenciales para interpretar las cantidades masivas de datos obtenidos. Para comprender este gran volumen de datos diversos es necesario también generar indicadores. Si bien es incipiente la expansión de nuevas tecnologías de información en ganadería, con su desarrollo se van descubriendo nuevas aplicaciones dentro de la producción de leche. Además, debido a que estas tecnologías se adoptan mucho más rápidamente en otras industrias más grandes los costos de las tecnologías de base disminuyen. De esta manera, la generación de indicadores cuantitativos en áreas como la lechería se vuelve económicamente más factible. Por otra parte, resulta importante tener especial atención a la transferencia de estas nuevas tecnologías de información ya que la mayor parte de las evaluaciones se realiza en entornos de investigación. Es necesario disminuir la brecha entre el impacto de estas tecnologías en la investigación en comparación con lo que sucede en establecimientos comerciales. El foco debe estar puesto en tratar de comprender y utilizar completamente la información proporcionada por la robotización de los procesos, de lo contrario solo se estarían generando datos que no colaborarían con aumentar la eficiencia del sistema. En síntesis, las tecnologías de información brindan enormes oportunidades para mejorar el manejo a nivel de cada vaca, algo que no es fácil de hacer en grandes rodeos. En el futuro, esta lechería de precisión cambiará la forma en que se manejan los establecimientos productivos.

METRICAS PARA EL TAMBO

En la actualidad, con la expansión en la adopción de programas o aplicaciones computacionales, la cantidad de información registrada en los tambos aumento notablemente. Con esto, es posible tener un seguimiento pormenorizado de cada uno de los animales que se encuentran en lactancia, almacenando información de diferente índole tal como la producción diaria de leche, registrar eventos que acontecen como parición,

servicio, aborto, descarte, venta, muerte y, además, la ocurrencia de algún evento sanitario. Como consecuencia se genera una gran cantidad de datos que es necesario procesar para poder obtener algún rédito. La óptima utilización del gran volumen de datos generados a partir de los registros productivos e historial reproductivo depende principalmente de las capacidades para explorarlos y modelarlos teniendo en cuenta las interacciones entre variables sin dejar de lado la naturaleza longitudinal de las observaciones. Realizar observaciones en el tiempo sobre un mismo individuo, la medición diaria de la producción de leche en cada animal, por ejemplo, dan origen a los que se denominan datos longitudinales. El análisis estadísticos y posteriores inferencias con este tipo de datos fue ampliamente estudiado en el campo de estudio del modelado estadístico bajo correlación temporal (Littell et al., 1996; Molenberghs y Verbeke, 2005; Fitzmaurice et al., 2008; West et al., 2014). Para análisis de esta naturaleza fueron desarrollados modelos lineales y no-lineales mixtos (Verbeke, 1997; Schabenberger y Pierce, 2001; Molenberghs y Verbeke, 2005). En lechería, existen experiencias en el análisis de los registros productivos de los animales, pero es casi exclusiva para estimaciones de heredabilidad y mérito genético, relacionado al análisis de los efectos aleatorios en el ámbito de la genética. Por otra parte, también se han ajustado modelos no-lineales mixtos para la modelación de curvas de lactancia y su impacto sobre la construcción de indicadores de eficiencia productiva y reproductiva. Sin embargo, cuantiosos ajustes de curvas de lactancia no contemplan la correlación temporal (de Boer et al., 1989; Grossman y Koops, 1988, 2003; Druet et al., 2003; Macciotta et al., 2005; Silvestre et al., 2009; Cole et al., 2012). En el contexto de los modelos mixtos, debido a la alta variabilidad existente entre animales, a través de la incorporación de efectos aleatorios es posible mejorar por un lado la bondad de ajuste como así también las capacidades predictivas de los modelos.

Las herramientas que permiten la representación de la producción de leche durante la lactancia en diferentes escenarios son de gran ayuda para fisiólogos, nutricionistas y genetistas para estudiar y probar hipótesis sobre el comportamiento de rodeos lecheros (Macciotta et al., 2011). La implementación de modelos matemáticos puede realizarse de diversas formas, desde programas informáticos hasta aplicaciones de hojas de cálculo, permitiendo proyectar la producción futura o comparar la producción real con la

proyectada (Ehrlich, 2011). Los modelos capaces de pronosticar la producción futura de leche proporcionan información útil para decisiones de manejo relacionadas con el tiempo, tal como el mejoramiento genético del rodeo. De esta forma, el análisis de la curva de lactancia provee parámetros que son fundamentales para determinar el costo reproductivo (de Vries, 2006).

En el caso de los indicadores reproductivos, es posible abordarlos implementando el enfoque de los análisis de sobrevivencia. Este método estadístico trabaja con el concepto de datos censurados para estudiar la ocurrencia de un evento o bien el tiempo que transcurre hasta que ocurre un evento. Ha sido usado para estudiar la sobrevivencia de individuos en función de una variable independiente llamada evento, de naturaleza dicotómica (en nuestro caso, preñada o vacía / descartada o no). Representa un cambio cualitativo del estado del individuo en donde el evento de interés se sitúa en el tiempo. Aparece entonces el concepto de seguimiento en el tiempo de la población bajo estudio, un grupo de vacas en nuestro caso, registrando los días en que cada vaca en sus lactancias experimenta el evento de interés (preñada y descartada). Hay individuos que pueden no experimentar el evento dentro del período de tiempo del estudio; a estas observaciones se las denomina datos censurados. Además, existen otros motivos por los cuales se deja de observar a una vaca durante el estudio, como por ejemplo animales que mueren durante el estudio o animales que se sentencian a irse del rodeo y luego se venden. El modelado del evento descarte en vacas lecheras ha proporcionado valiosa información en tambos (de Vries, Olson, et al., 2010; Schuster et al., 2020). También se ha modelado, a través de curvas de sobrevivencia, el evento preñez en función de los días en lactancia (Piccardi et al., 2013). A pesar del desarrollo de herramientas estadístico-computacionales, su aplicación en el área de la producción de leche en la Argentina aún es escasa.

En función de los múltiples enfoques y análisis estadísticos disponibles, el presente trabajo busca identificar las mejores herramientas metodológicas que permitan analizar aspectos concernientes a lo productivo, reproductivo y sanitario a partir de la información generada rutinariamente en numerosos tambos. Bajo esta dimensión, los primeros capítulos se focalizan en la obtención de parámetros productivos y reproductivos que permiten caracterizar los principales sistemas productivos de Argentina. En segundo lugar, se

analiza el efecto que puede desencadenar la existencia de eventos sanitarios en las lactancias bajo estudio para los parámetros descritos anteriormente. Posteriormente, se propone aplicar e ilustrar el uso combinado de indicadores reproductivos y productivos para estimar el costo reproductivo por vaca en el contexto del modelo bioeconómico desarrollado por Cabrera (2010) bajo diferentes sistemas de manejo y contemplando la ocurrencia de casos clínicos de enfermedades en el transcurso de la lactancia. Finalmente, se implementaron técnicas estadísticas para analizar lactancias provenientes de animales que se encuentran en sistemas de ordeño automáticos. Con esto, el capítulo dos consiste en la descripción de los indicadores productivos y reproductivos de los principales sistemas productivos existentes en Argentina. Implementando modelos no lineales, se realizaron ajustes de las curvas de lactancia que permitió la obtención de parámetros que luego fueron utilizados para generar indicadores productivos. Además, utilizando el análisis de sobrevivencia, fue estudiado el desempeño reproductivo de cada sistema productivo. En el capítulo tres se implementaron herramientas estadísticas para estimar, ante la existencia de eventos sanitarios, los efectos productivos y reproductivos. En el capítulo cuatro se compararon los diferentes sistemas productivos, utilizando un modelo bioeconómico ya desarrollado, teniendo en cuenta la presencia, o la ausencia, de eventos sanitarios. Por último, en el capítulo cinco, se implementaron algunas de las herramientas estadísticas desarrolladas en este trabajo para el análisis de datos provenientes de lactancias que se encontraban bajo sistemas de ordeños automatizados.

HIPÓTESIS

A través del ajuste de un modelo no-lineal se pueden hacer estimaciones precisas del comportamiento productivo y reproductivo global e individual del rodeo lechero afectado a diferentes eventos sanitarios.

El ajuste de un modelo bioeconómico permite el análisis sistemático de la ineficiencia productiva y reproductiva, condicionado a los eventos sanitarios.

OBJETIVO GENERAL

Implementar herramientas analíticas modernas para estimar los efectos productivos y reproductivos ante diferentes eventos sanitarios en rodeos lecheros de Argentina.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Evaluar y ajustar diferentes modelos no-lineales con y sin efectos aleatorios de curvas de lactancia.
- II. Cuantificar los efectos de los eventos sanitarios en el desempeño productivo y reproductivo.
- III. Evaluar la interrelación entre enfermedades, fertilidad y producción de leche.
- IV. Evaluar el impacto económico implementando un modelo bioeconómico para comparar los costos, condicionados a los eventos sanitarios.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS LECHEROS DE ARGENTINA

INTRODUCCIÓN

La producción lechera comercial surge de una decisión empresaria de combinar los recursos e insumos disponibles de la manera más conveniente para lograr la mayor renta económica. Esta posibilidad de combinar recursos e insumos está acotada por las características climáticas del entorno donde se desarrolla la actividad. Producto de los avances tecnológicos, se están generando cambios en la asignación de los recursos productivos (tierra, capital y trabajo) y modificando su importancia relativa en los modelos de producción (Centeno, 2013). Actualmente, en lugares como la Unión Europea, América del Norte, Australia y Nueva Zelanda, una clara mayoría de la producción de leche proviene de relativamente pocos establecimientos que, en los últimos años, han incrementado su tamaño. Si bien el grado y el momento de la intensificación y la concentración varían sustancialmente entre las regiones productoras de leche y dentro de ellas, se ha producido una fuerte aceleración en las últimas dos décadas (Clay et al., 2020). Mundialmente, este proceso de intensificación consistió principalmente en un aumento en el número de animales por rodeo, un incremento en el nivel productivo por animal producto de una mejora genética y un aumento del uso de concentrados en las raciones (Álvarez et al., 2008). Análogamente, en Argentina el proceso de intensificación ha buscado lograr mejoras productivas y económicas. La productividad está relacionada tanto con la carga animal como así también con la producción individual, que además son el resultado de la interacción de otras variables que en mayor o menor medida afectan la eficiencia productiva y económica de la empresa (Centeno, 2015).

Si bien la producción de leche en Argentina se mantiene estable durante los últimos años con un leve crecimiento en el año 2020 (según datos publicados por la Dirección Nacional Láctea perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021), las

estructuras productivas de los establecimientos han sufrido cambios caracterizados por un aumento de la producción diaria de leche con una reducción del número de tambos. Confirmando de esta manera que Argentina no permaneció ajena al denominado proceso de concentración en los establecimientos para producción de leche (Taverna, 2015).

Un análisis de los sistemas lecheros conlleva a caracterizarlos en función de diferentes variables involucradas. Así en el presente trabajo se utilizaron datos que provenían de sistemas que fueron clasificados de acuerdo con la modalidad contemplada en el alojamiento de los animales. De esta forma, podemos definir a los sistemas denominados estabulados (freestall), como aquellos sistemas de confinamiento permanente, donde mayoritariamente la disponibilidad de tierra es liberada para la producción de alimentos. Se caracterizan por instalaciones de encierre que provee a los animales áreas limpias y secas individuales para cada animal con buenas condiciones para su bienestar. Asociados a una mayor inversión de capital, se espera de estos sistemas mayores niveles de producción. Los sistemas llamados de encierre (dry-lot), son sistemas originados en Estados Unidos, en áreas geográficas donde las precipitaciones anuales son menores a los 500 milímetros. El encierre de animales ocurre en corrales al aire libre y es de esperar que, bajo estas circunstancias climáticas, aun en aquellas épocas donde se concentran la mayor cantidad de lluvias, el mantenimiento de pisos y accesos no implica mayores problemas. Por último, el nombrado sistema pastoril, el más difundido en nuestro país, es un sistema en el que la base de la alimentación son las pasturas, aunque actualmente se utilice también suplementaciones para maximizar la producción, siendo el recurso más escaso la tierra (Frossasco et al., 2017).

La diversidad de suelos, clima y escalas existentes en nuestro país permite que coexistan diversos sistemas para producir leche. Con esto, Argentina no cuenta con un único sistema de producción definido, debiéndose en gran parte a las marcadas diferencias climáticas y geográficas entre las distintas zonas del país, lo que lleva a que las condiciones de explotación sean muy diferentes. Independientemente del sistema productivo, los factores determinantes para el éxito económico de los establecimientos

están relacionado a la eficiencia productiva y reproductiva, el precio del producto obtenido y los costos para producirlo.

La modelación de la producción de leche durante el período de lactancia es una aplicación exitosa de la ciencia de datos en la lechería. A través de su aplicación es posible imitar procesos fundamentales de producción de leche en diferentes escenarios que son de ayuda para fisiólogos, nutricionistas y genetistas para estudiar y probar hipótesis sobre el comportamiento de rodeos lecheros (Macciotta et al., 2011). El modelo estadístico ajustado desde datos productivos se puede utilizar, luego, de muchas formas, especialmente a través de programas informáticos o aplicaciones de hojas de cálculo para proyectar la producción futura o comparar la producción real con la proyectada (Ehrlich, 2011). Los modelos de producción de leche capaces de pronosticar la producción de leche futura proporcionan información útil para las decisiones de manejo relacionadas con el tiempo, tal como el mejoramiento genético del rodeo. Además, el análisis de la curva de lactancia provee parámetros que son fundamentales para cálculos bioeconómicos (de Vries, 2006).

A nivel individual (vaca), el modelado de la curva de lactancia es de ayuda para monitorear los rendimientos individuales, planificar dietas, detectar anomalías en momentos tempranos y para evaluar el descarte (Gipson y Grossman, 1989). Los parámetros de la curva de lactancia como indicadores productivos junto a otros indicadores de eficiencia del tambo deben mostrar en forma simple los logros y objetivos de cada acción que se propone en un sistema de producción láctea para que éstas puedan ser fácilmente entendibles y evaluadas. Además, deben ser fácilmente obtenibles y calculables a partir de datos que existan en el tambo, deben relacionarse con la sustentabilidad y rentabilidad de rodeo y principalmente, deben ser fáciles de comprender por parte de las personas que tienen la responsabilidad de ejecutar las prácticas necesarias para cumplir con los objetivos del establecimiento lechero. Esos indicadores deben decirnos qué proporción del rodeo lechero está cumpliendo con los objetivos del sistema y, como contrapartida, que proporción está fallando (Piccardi et al., 2019).

Durante el período del parto, las vacas son más propensas a un gran número de afecciones sanitarias (Leblanc, 2020a). Aproximadamente un tercio de las vacas lecheras

tienen al menos una enfermedad clínica en las primeras 3 semanas de lactancia y representan del 60 al 80% de todos los casos clínicos que ocurren en vacas lactantes (Ribeiro y Carvalho, 2017). Consecuentemente, la mayoría de las muertes ocurren durante el primer tercio de lactancia. Además, la asociación entre los eventos que tienen lugar en el periparto y la posterior fertilidad y rendimiento de las vacas lecheras ha sido informado ampliamente (Bicalho et al., 2007; Ribeiro et al., 2016; Carvalho et al., 2019; Gilbert, 2019). En gran medida estos problemas de salud se relacionan con la dificultad que representa para las vacas adaptarse a una nueva lactancia resultando en un desequilibrio fisiológico, situación en la que los mecanismos reguladores son insuficientes para que los animales funcionen de manera óptima y conduce a una vulnerabilidad a presentar afecciones de naturaleza tanto digestiva, metabólica como así también infecciosa (Ingvartsen, 2006; Carvalho et al., 2019). Al mismo tiempo, se ha informado ampliamente de una asociación negativa entre la aparición de eventos sanitarios durante la lactancia temprana y el posterior descarte de los animales, reforzando de esta manera que la fertilidad deteriorada, además de conducir a una baja producción de leche, es una de las razones más frecuentes para la eliminación de los animales del rodeo (de Vries, Olson, et al., 2010; Pinedo et al., 2010; Carvalho et al., 2019).

La fertilidad es otro componente crítico de la producción lechera eficiente, y las fallas para lograr y mantener una gestación oportuna son las principales razones de las pérdidas de producción en los rodeos lecheros. Las consecuencias de la baja fertilidad incluyen un porcentaje reducido de vacas en las primeras etapas de la lactancia, aumentos en los costos de inseminación y retraso en el progreso genético (Santos et al., 2011). El desempeño reproductivo tiene una gran influencia en el resultado económico final de los sistemas tamberos, impactando en varias áreas, determinando el rechazo anticipado de vacas que no logran preñarse, afectando la disponibilidad de animales propios para utilizarse como reposición, la producción de leche en general y también los costos de alimentación a través de la eficiencia de conversión (Martino y Capitaine Funes, 2011).

Los objetivos de este capítulo son: (1) obtener métricas que constituyen indicadores reproductivos y productivos del tambo (2) comparar el perfil de indicadores entre sistemas de producción estabulados, encierres y pastoriles de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

La base de datos que se analizó contiene información sobre los eventos sanitarios, reproductivos y productivos de 72 tambos distribuidos en las provincias de Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos para los años 2016, 2017 y 2018 y consta de 164.334 lactancias finales de 109.066 vacas. Los datos originales fueron sometidos a una exhaustiva depuración para su análisis. En consecuencia, fueron excluidas lactancias que tenían registrado ya sea eventos sanitarios o fecha de parto por fuera del periodo de tiempo analizado comprendido entre las fechas 01/01/2016 al 31/12/2018. Además, también fueron excluidas aquellas lactancias que presentaban inconsistencia en alguna de las siguientes variables: fecha de parto y fecha de concepción.

Los tambos comerciales que participan en el estudio utilizan el software de gestión Dairy Comp 305 (Clientes Ciale Alta Advantage). Cada registro contiene información sobre el tambo, la identificación del animal, el número de lactancia, fecha de parto, fecha de concepción, nomenclatura y fecha del evento sanitario, días en lactancia en que ocurre el evento y registro de la producción del día del control lechero. Los sistemas productivos

de los tambos analizados son estabulados, de encierres o pastoriles (10, 21 y 41 unidades productivas respectivamente) y realizan entre 2 y 3 ordeños diarios.

Para el ajuste de las curvas de lactancia, fueron descartados registros con valores mayores a 65 litros por día por considerarse biológicamente inverosímiles y resultado de un error de registro de datos. Por otra parte, registros de controles lecheros que superaron los 930 días en lactancia no fueron incluidos en el análisis. Además, únicamente fueron consideradas aquellas lactancias que contaban con al menos 6 controles lecheros en total y 3 de ellos registrados durante el primer tercio de lactancia. Este criterio se estableció para poder capturar la variabilidad de las curvas y así poder modelar con mayor precisión. Fueron incluidos para el análisis, lactancias de vacas primíparas (primer parto) como lactancias de vacas múltiparas (más de un parto).

Indicadores productivos. Ajuste de curvas de lactancia.

Para cada lactancia se modelaron los datos de controles lecheros consecutivos mediante el ajuste del modelo Gamma Incompleta (Wood, 1967) [2.1] con intercepto aleatorio. Se adicionó un componente aleatorio distribuido normalmente con media cero y varianza σ_a^2 al parámetro a de la función Gamma Incompleta. De esta manera, la producción de leche en el día t de la lactancia se explica por el siguiente modelo:

$$Y(t) = at^b \exp^{-ct} \quad [2.1]$$

donde $Y(t)$ es la producción de leche en el día t de la lactancia, a es un parámetro que representa la producción al comienzo de la lactancia; b y c parámetros asociados al crecimiento y decrecimiento de las pendientes de la curva de lactancia, respectivamente. Las curvas de lactancia típicas tienen valores positivos de b y c . La componente aleatoria se supuso normalmente distribuida con media cero y varianza σ_a^2 , esta debe interpretarse

como una variable no observable que representa una desviación aleatoria del coeficiente a de la i -ésima lactancia, y que es independiente del término de error asociado a la variabilidad individual de las observaciones que no se explican con el modelo; se supone que los errores $e_{ij} \sim N(0, \sigma_a^2)$. Estimados los parámetros fijos de la curva, se calcularon los litros al pico $Ppico$ [2.2] y los días en lactancia al pico $Dpico$ [2.3] a través de las siguientes expresiones:

$$Ppico = a \left(\frac{b}{c}\right)^b \exp^{-b} [2.2]$$

$$Dpico = \frac{b}{c} [2.3]$$

Los ajustes se realizaron con PROC NLMIXED de SAS (SAS Institute Inc., 2011). En el Anexo 1 se presentan los códigos SAS usados para obtener los parámetros de las curvas para cada uno de los sistemas productivos analizados: estabulado, encierre y pastoril. Además, fueron estimados otros indicadores tales como el número de lactancias promedio y distribución del evento muerte en función de los meses post parto para cada uno de los sistemas productivos analizados. Para la descripción de la variable número de lactancia fueron incluidos los registros de todas las lactancias analizadas y se expresó la frecuencia de la variable como porcentaje del total. El porcentaje del evento muerte fue calculada como la proporción de este evento expresada como porcentaje sobre el total de muertes registradas, contemplando su ocurrencia desde el primer mes post parto hasta el noveno mes de lactancia, todas aquellas muertes ocurridas posterior a este momento fueron sumadas y asignadas a la categoría denominada 10 o más meses de lactancia. Por último, la cantidad de muertes en función de los meses post parto fue comparada a través de una prueba para la diferencia de proporciones para los distintos sistemas productivos analizados.

Indicadores reproductivos

La Tasa de Preñez acumulada a los 100 y a los 200 días en leche (DEL) fue calculada como la proporción de vacas que se preñan hasta los 100 y 200 DEL respectivamente (TP100d y TP200d), teniendo en cuenta todas las lactancias que están en riesgo de ser preñadas. Se calculó la proporción de animales que se encontraban vacíos (abiertos) a los 200 DEL, dando lugar a lo que se denominó porcentaje de animales abiertos a los 200 DEL (%A200). El período de espera voluntario (PEV) se definió como los días posparto en el cual el 10% de las vacas del rodeo habían recibido su primera inseminación en el año (Miller et al., 2007). El porcentaje de inseminaciones artificiales realizadas hasta los 80 DEL (%PrIA80d) se estimó como la proporción de inseminaciones concretadas al día 80 de comenzada la lactancia sobre el total registrado. Este indicador se calculó para cada uno de los tambos, posteriormente se obtuvo el valor promedio para cada uno de los sistemas productivos analizados. Además, teniendo en cuenta los registros que indican los DEL, para cada animal, en que se realizaron las inseminaciones en cada tambo, se estimó la mediana del tiempo en la que se realizaba la primera inseminación en cada uno de los sistemas productivos (MedII). El número de servicios (NServ) se calculó como el promedio de servicios realizados hasta lograr una preñez efectiva para cada uno de los sistemas analizados.

Los días vacía (DV) se analizó desde el enfoque de los análisis de sobrevida. Este análisis es un método estadístico que trabaja con el concepto de datos censurados para estudiar la ocurrencia de un evento o bien el tiempo que transcurre hasta que ocurre un evento. Ha sido usado para estudiar la sobrevida de individuos en función de una variable independiente llamada evento, de naturaleza dicotómica (en nuestro caso, preñada o vacía). Es un cambio cualitativo del estado del individuo. En el análisis de datos censurados el evento de interés se sitúa en el tiempo. Aparece entonces el concepto de seguimiento, en nuestro caso, un conjunto de vacas desde la fecha 01/01/2016 siguiéndolos hasta 31/12/2018, registrando los días en que cada vaca en sus lactancias experimenta el evento

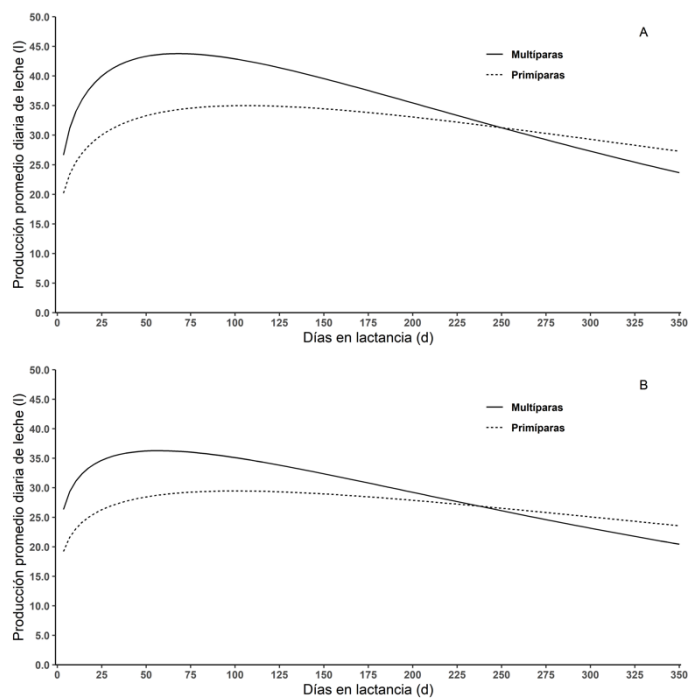
de interés (preñez). Hay individuos que pueden no experimentar el evento dentro el período de tiempo del estudio o monitoreo; a estas observaciones se las denomina datos censurados. Para el caso del indicador DV, se refiere al animal que no se logró preñar o bien se la dejó de monitorear ya que se terminó la recolección de los datos (31/12/2018). Otros motivos por los cuales se dejó de observar a una vaca durante el estudio fueron: animales que dejan de pertenecer a la lista de elegibles para los servicios, animales que mueren durante el estudio y animales que se sentencian a irse del rodeo y luego se venden. Se obtuvieron curvas de sobrevida para el indicador DV, donde se compararon los diferentes sistemas y sus particiones. Las curvas se calcularon según el algoritmo de Kaplan-Meier y se comparó la igualdad de dos o más curvas de sobrevida con el estadístico Log Rank (Kaplan y Meier, 1958). Se compararon las curvas por los sistemas productivos (estabulados, encierre y pastoriles), por categoría animal (primíparas y multíparas) y finalmente, por la eficiencia reproductiva (ER). Los tambos fueron particionados como de alta y baja ER, de acuerdo con los percentiles 33 (P33), y 66 (P66) de la distribución del tiempo, medido en días, en el cual se preña el 50% de la población en riego. Por lo tanto, todos los tambos con una mediana de tiempo, en la cual se preña la mitad de las lactancias en riesgo, menores al P33, se los categorizó como de alta ER. De igual forma, aquellos tambos que se encontraron con una mediana de tiempo superior al P66 se los categorizó dentro del grupo de baja ER.

Finalmente, para poder comparar los sistemas productivos (estabulado, encierre y pastoril), en cuanto a los indicadores TP100d, TP200d, %Pr1Insem, %A200 y %PrIA80, se ajustó un modelo lineal generalizado. Para la variable NServ se ajustó un modelo lineal de efectos fijos. Como prueba posteriori se utilizó la prueba LSD Fisher. El nivel de significancia considerado fue $\alpha=0,05$. Para analizar las variables que no cumplían con el supuesto de normalidad, PEV y MedII, se empleó el test de Mann-Whitney.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores productivos

En la Figura 2.1 se presenta el ajuste de las curvas de lactancias promedio estimadas para las categorías estudiadas (primíparas y múltiparas) en los sistemas productivos estabulado, encierre y pastoril. En todos los casos las curvas ajustadas para animales con más de un parto tuvieron un desempeño productivo mayor en comparación con animales primíparos, mientras que para esta última categoría se puede observar una mayor persistencia en la lactancia, caracterizada por el parámetro c del modelo ajustado que denota un menor decrecimiento de la pendiente de la curva en comparación con la curva que pertenece a animales múltiparas.



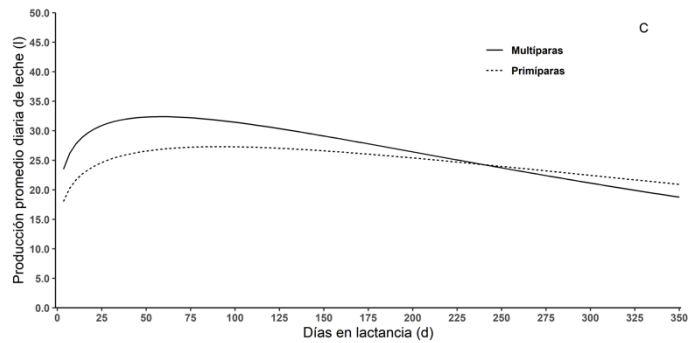


Figura 2.1. Curvas de lactancia ajustadas para los sistemas productivos de tipo estabulado (A), encierre (B) y pastoril (C) para las categorías animal analizadas (primíparas y múltiparas).

En la Tabla 2.1 se presenta las estimaciones de los parámetros para los ajustes de curvas de lactancias realizados con el modelo de Wood (Wood, 1967), para las categorías de primíparas y múltiparas analizadas para cada uno de los sistemas productivos (estabulado, encierre y pastoril).

La incorporación de un efecto aleatorio asociado al animal otorga flexibilidad al modelo eliminando la necesidad de ajustar formas funcionales diferentes para individuos de un mismo rodeo (Lindstrom y Bates, 1990). Para todos los sistemas analizados, los litros estimados al pico de producción fueron siempre mayores para animales múltiparas en comparación con los primíparas. También, los días en que se alcanza este pico productivo fue siempre menor para animales con más de un parto comparado con animales primíparas. Para los sistemas productivos de tipo estabulado, para primípara y múltiparas, se obtuvieron los valores más altos en los litros producidos en el pico de lactancia, seguido por los sistemas de tipo encierre y por último los pastoriles (Tabla 2.1).

La intensificación de los sistemas productivos permite, potencialmente, controlar un mayor número de las variables intervinientes en la producción a través de la mayor facilidad para cuantificarlas. A pesar de que se ha reportado una mayor productividad en sistemas intensivos, esto depende en gran medida de la gestión del bienestar (Cook et al., 2016), la prevención de enfermedades (M. de Vries et al., 2015) como así también de la vida útil de los animales (Knaus, 2009). Además, analizados en términos económicos, Palladino (2018) reportó que el alto consumo de materia seca (por hectárea y por vaca

total) es una característica de los sistemas económicamente rentables, mientras que el uso de pasturas estaría relacionado con sistemas estables.

Tabla 2.1. Estimaciones de parámetros para curvas de lactancias ajustadas con el modelo de la función Gamma Incompleta (Wood). El modelo fue ajustado para las distintas categorías animal (primíparas y multíparas) como modelo mixto con efectos aleatorio asociado al parámetro a. Las estimaciones se hicieron para cada sistema productivo analizado.

Sistema	Categoría	Parámetro				
		a [EE] ¹	b [EE]	c [EE]	Ppico [EE]	Dpico [EE]
Estabulado	Primípara	15,360 [0,090]	0,225 [0,001]	-0,002 [1,2e-5]	34,995 [0,062]	106,024 [0,334]
	Multípara	19,820 [0,088]	0,246 [0,001]	-0,004 [1,2e-5]	43,792 [0,067]	68,123 [0,177]
Encierre	Primípara	15,448 [0,064]	0,179 [0,001]	-0,002 [8,3e-6]	29,459 [0,053]	100,043 [0,273]
	Multípara	21,411 [0,068]	0,173 [0,001]	-0,003 [8,3e-6]	36,299 [0,052]	57,129 [0,159]
Pastoril	Primípara	14,486 [0,087]	0,180 [0,002]	-0,002 [1,2e-5]	27,303 [0,058]	91,728 [0,385]
	Multípara	19,170 [0,077]	0,171 [0,001]	-0,003 [1,0e-5]	32,399 [0,052]	58,467 [0,215]

¹Error estándar.

²Litros al Pico estimados con el modelo de Wood = $a (b/c) b^*e^{-b}$.

³Días al Pico estimados con el modelo de Wood = b/c .

Eficiencia reproductiva

En la Tabla 2.2. se presenta, la tasa de preñez (TP) acumulada tanto a los 100, como a los 200 DEL, el porcentaje de preñez a la primera inseminación (%Pr1Insem), el porcentaje de animales que no lograron la preñez (abiertos) a los 200 DEL, el PEV estimado, el porcentaje de primera inseminación a los 80 DEL y el número de servicios promedios hasta lograr una preñez (Nserv), clasificados de acuerdo al sistema productivo

(estabulado, encierre y pastoril). Sólo la variable NServ fue diferente estadísticamente para el sistema estabulado en comparación con los sistemas de encierre y pastoril. En Australia, los establecimientos con un buen desempeño reproductivo lograron un 73% de vacas inseminadas a los 80 DEL y una TP acumulada a los 200 DEL del 51% (Australia, 2017). Estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo para algunos de los sistemas productivos analizados. Esto creemos que se debe a que la mayoría de los sistemas productivos australianos, se asemejan a las condiciones que representan tanto los sistemas de encierre como así también a los pastoriles de nuestro país. Los valores de TP acumulada a los 100 DEL estimados en este trabajo se aproximan a los publicados por Piccardi et al. (2011), en donde estimaron valores de entre 27, 33 y 34% para lactancias categorizadas como de alto, medio y bajo nivel productivo. Por otro lado, en un estudio longitudinal retrospectivo utilizando un conjunto de datos que incluía rodeos lecheros de la provincia de Buenos Aires, Rearte et al. (2018) reportaron valores de TP a los 100 DEL entre 31,4 y 27,9%. La mediana de DEL a la primera inseminación y el promedio de número de servicios dados hasta lograr una preñez para lactancias provenientes de sistemas estabulados fue de 62 DEL y 3,07 servicios, 63 DEL y 2,60 servicios para las de encierre y por último 64 DEL y 2,72 servicios para lactancias pertenecientes a sistemas pastoriles (Tabla 2.2). Estas estimaciones coinciden con los hallados por Piccardi et al. (2013), quienes estimaron 65 DEL con 2 servicios por preñez (estimados a través de la mediana).

Tabla 2.2. Indicadores reproductivos estimados para tres sistemas productivos.

Sistema	n	TP100d	TP200d	%Pr 1 insem	%A200d	PEV	%Prim IA 80 d	MedII	N Serv
Estabulado	10	0,28a	0,49a	31a	32a	48a	93a	62a	3,07a
Encierre	21	0,30a	0,52a	33a	30a	46a	81a	63a	2,60b
Pastoril	41	0,29a	0,50a	32a	28a	47a	76a	64a	2,72b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

En la Figura 2.2 se muestran las curvas de sobrevivencia construidas según particiones de las lactancias dadas por los sistemas productivos. Las tres curvas de sobrevivencia, indican el porcentaje de animales que se preñan en función del tiempo transcurrido desde el inicio de la lactancia hasta los 300 DEL. La mediana del tiempo en el que se preña la mitad de la población en riesgo, es de 126, 128 y 132 DEL, para estabulado, encierre y pastoril respectivamente (Tabla 2.3). Resultados similares fueron reportados por Piccardi et al. (2013) en un estudio en el que se reportó, como mediana de DV, 124, 129 y 148 para lactancias categorizadas como de baja, media y alta producción.

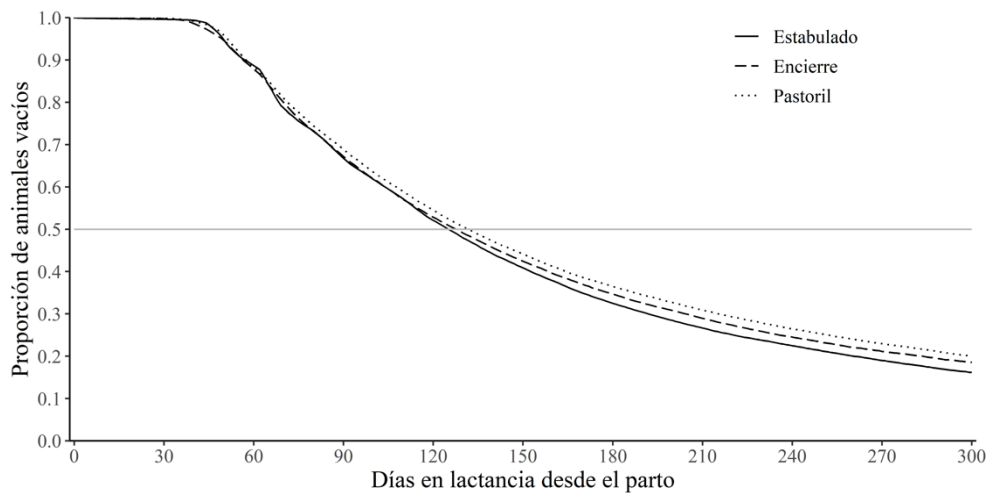


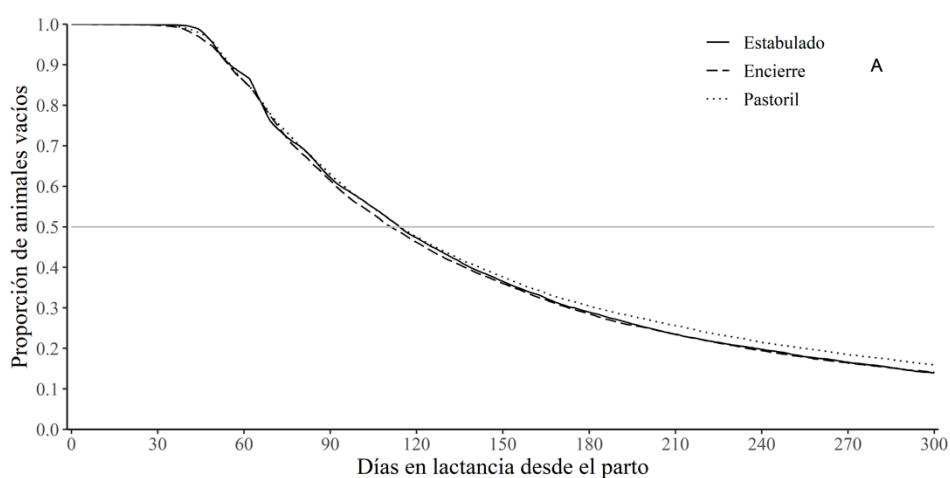
Figura 2.2. Curva de sobrevivencia de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para lactancias de distintos sistemas productivos.

Tabla 2.3. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) asociados según el sistema productivo.

Sistema	Mediana del tiempo IC 95% (LI – LS)	25% de animales preñados	de	75% de animales preñados	de
Estabulado	126 (124 – 127)	77		221	

Encierre	128 (127 - 129)	77	236
Pastoril	132 (131 - 134)	79	253

Luego, las lactancias fueron particionadas según la variable número de lactancia en primíparas y múltiparas. En la Figura 2.3 se presentan las curvas de sobrevivencia construidas según particiones de las lactancias dadas por los sistemas productivos tanto para lactancias primíparas como para múltiparas. Las curvas de sobrevivencia indican el porcentaje de animales que se van preñando conforme transcurre el tiempo, contemplando desde el inicio de la lactancia hasta los 300 DEL. En todos los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$). Independientemente del sistema productivo, la mediana del tiempo en el que se preño la mitad de la población en riesgo (expresados en DEL) fue menor para lactancias primíparas en comparación con aquellas pertenecientes a múltiparas. Mostrando diferencias de 19, 28 y 27 días para estabulado, encierre y pastoril, respectivamente (Tabla 2.4). Los valores encontrados se corresponden con los publicados por Piccardi et al. (2014), que compararon dos razas de vacas lecheras, reportaron como la mediana del tiempo donde se preñaba el 50%, 129 DEL para primíparas de raza Holstein pura.



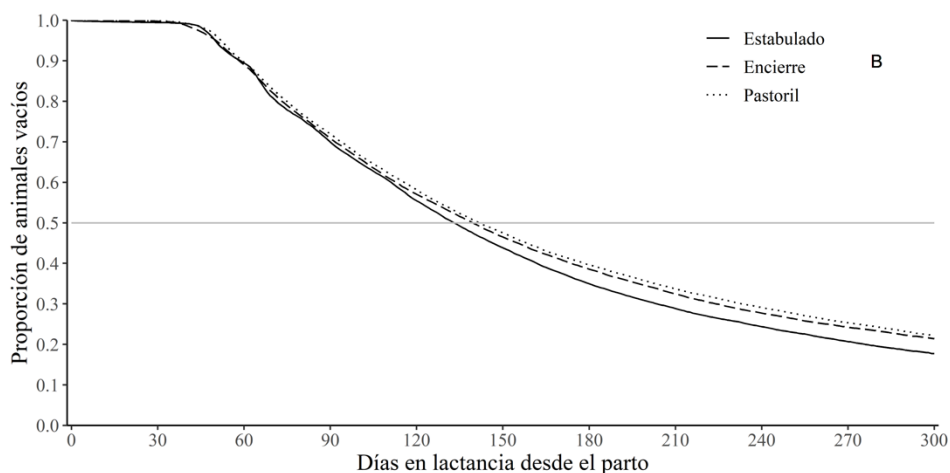


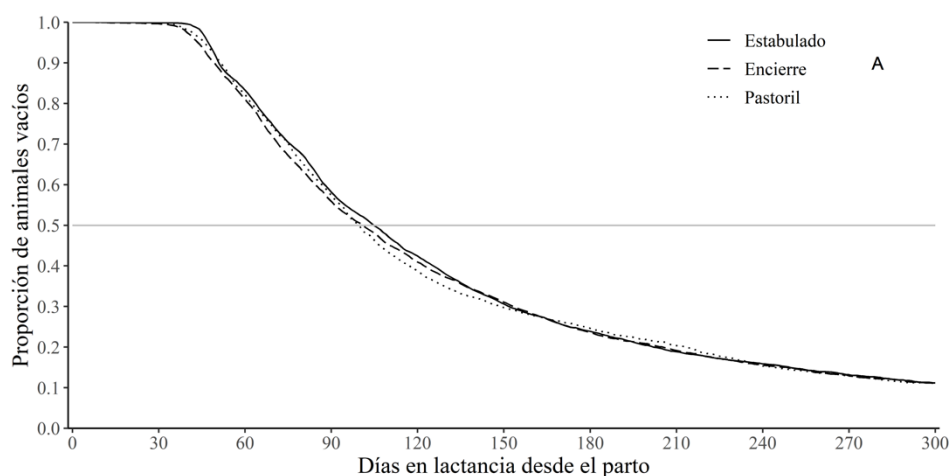
Figura 2.3. Curva de sobrevivencia de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para primíparas (A) y multíparas (B) de distintos sistemas productivos.

Tabla 2.4. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para distintas categorías animal asociados según el sistema productivo.

Sistema	Categoría	Mediana del tiempo IC 95% (LI – LS)	25% de animales preñados	75% de animales preñados
Estabulado	Primípara	115 (113 – 116)	71	201
	Multípara	134 (132 – 135)	82	236
Encierre	Primípara	112 (110 - 113)	72	201
	Multípara	140 (139 - 142)	83	264
Pastoril	Primípara	115 (113 - 116)	73	215
	Multípara	142 (141 - 144)	84	274

Por último, se particionó a los tambos en alta y baja eficiencia reproductiva teniendo en cuenta los DEL en que se preña el 50% de la población en riesgo. En la Figura 2.4 se puede apreciar las curvas de sobrevivencia para lactancias primíparas dadas por los sistemas productivos, para tambos categorizados como de alta y baja eficiencia reproductiva. En todos los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$). La mediana del tiempo en el que se preñó la mitad de la población en riesgo

para tambos de alta eficiencia se redujo a 32, 25 y 35 DV en estabulado, encierre y pastoril respectivamente en comparación con tambos de baja eficiencia (Tabla 2.5). Estos valores están en concordancia con lo publicado por Piccardi et al. (2013) en un estudio similar en el que evaluó los DV considerando el número de lactancia y el nivel productivo, reportando para primíparas valores de 140 y 117 DEL para lactancias categorizadas como de alta y baja producción respectivamente. Como su categorización así lo indica, tambos de baja eficiencia reproductiva requieren más cantidad de ciclos para lograr preñar a la misma cantidad de animales en comparación con aquellos establecimientos de alta eficiencia. Si se considera que el ciclo estral bovino tiene una duración promedio de 21 (\pm 4) días, la cuantificación de esta diferencia, expresada en número de ciclos, es aproximadamente 1,5 en el caso de los sistemas estabulados, 1,2 para encierre y 1,7 en aquellos sistemas pastoriles.



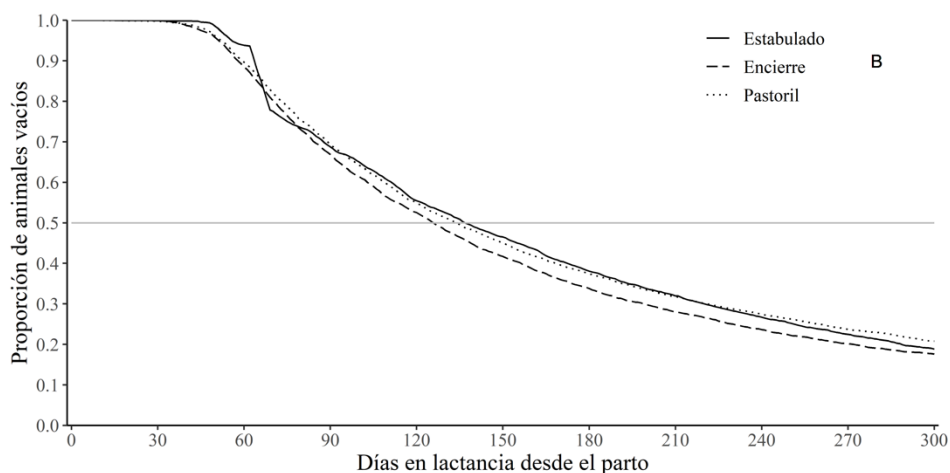


Figura 2.4. Curva de sobrevivencia de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para primíparas de alta (A) y baja (B) eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.

Tabla 2.5. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para primíparas categorizado por la eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.

Sistema	Eficiencia Reproductiva	Mediana del tiempo IC 95% (LI – LS)	25% de animales preñados	75% de animales preñados
Estabulado	Alta	105 (104 – 107)	70	173
	Baja	137 (134 – 142)	76	252
Encierre	Alta	101 (98 - 104)	67	173
	Baja	126 (123 - 130)	78	231
Pastoril	Alta	100 (97 - 103)	69	179
	Baja	135 (130 - 138)	81	261

En la Figura 2.5, se puede apreciar las curvas de sobrevivencia para tambos categorizados por su eficiencia reproductiva para lactancias múltiparas. La mediana del tiempo en el que se preñó la mitad de la población en riesgo para tambos de alta eficiencia se redujo en 30, 37 y 46 DV para sistemas estabulados, encierre y pastoril, respectivamente en comparación con tambos de baja eficiencia (Tabla 2.6). Estos resultados sugieren que, para tambos de alta eficiencia reproductiva, fueron necesarios aproximadamente 1,4, 1,8 y 2,2 ciclos estrales menos para los sistemas estabulados, encierre y pastoriles,

respectivamente para preñar a la mitad de la población en riesgo, con respecto a tambos de baja eficiencia reproductiva.

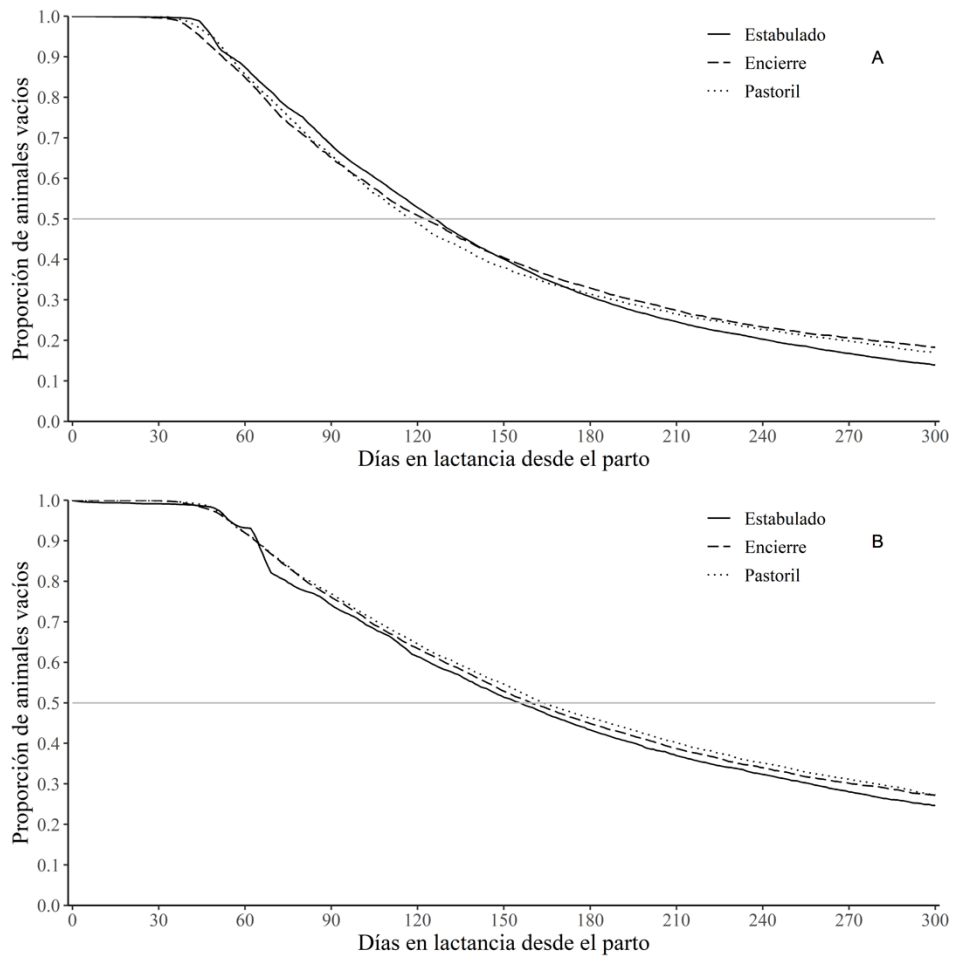


Figura 2.5. Curva de sobrevida de Kaplan-Meier. Días en lactancia que transcurre luego del parto hasta lograr la preñez (días vacíos) para multíparas de alta (A) y baja (B) eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.

Estos resultados para lactancias multíparas son similares a los estimados por Piccardi et al. (2013), que publicaron una mediana de DV de 152 y 127 DEL para lactancias categorizadas como de alta y baja productividad respectivamente en rodeos lecheros de las provincias de Santa Fe y Córdoba de Argentina.

Tabla 2.6. Mediana del tiempo estimado e IC (95%) que transcurre hasta lograr una preñez y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) para múltiparas categorizado por la eficiencia reproductiva para distintos sistemas productivos.

Sistema	Eficiencia Reproductiva	Mediana del tiempo IC 95% (LI – LS)	25% de animales preñados	75% de animales preñados
Estabulado	Alta	126 (125 – 128)	81	208
	Baja	156 (151 – 161)	89	296
Encierre	Alta	123 (120 - 126)	73	227
	Baja	160 (156 - 165)	93	332
Pastoril	Alta	118 (115 - 121)	76	222
	Baja	164 (161 - 168)	95	324

Otros indicadores

El número de lactancia promedio fue de 2,3, 2,4, 2,7 para sistemas estabulados, encierre y pastoril respectivamente. Esto explica, la distribución de la frecuencia que se encuentra graficado en la Figura 2.6, evidenciando que, de los registros analizados, aproximadamente el 80% pertenecieron a terceras o menos lactancias para todos los sistemas productivos. En otros países fueron publicados valores similares del tiempo promedio de permanencia de los animales en el rodeo expresado en lactancias (Wathes et al., 2008; Knaus, 2009; Schuster et al., 2020). En general, las decisiones de descarte, y por lo tanto la longevidad, se determinan en función de la salud y del rendimiento de la vaca. Por esto, debido a que la heredabilidad de la longevidad es baja, el sistema productivo en el que se desempeñan los animales tiene mucha importancia (McConnel et al., 2008). Las condiciones ambientales y de alojamiento actuales de las vacas son muy diferentes de sus hábitats originales, y estas condiciones se han sugerido como un factor que contribuye a afectar la longevidad (Tokuhisa et al., 2014). Las afecciones sanitarias, tales como las enfermedades podales y la mastitis, no solo tienen un efecto significativo en la producción de leche, sino que además están asociados con una reducción en el rendimiento reproductivo (Santos, Cerri, et al., 2004; Pinedo et al., 2016) y la longevidad (Randall et

al., 2016; Gussmann et al., 2019; Shabalina et al., 2020). Estas enfermedades se encuentran íntimamente asociadas a factores ambientales en los que se desarrollan los rodeos. Con esto, por ejemplo, el tipo de piso y el diseño de las instalaciones son factores de riesgo asociados con mayores probabilidades de problemas podales (Barker et al., 2010; Solano et al., 2015). Por esto, la intensificación de los sistemas productivos es una preocupación constante con respecto al bienestar animal, ya que al restringir el movimiento o comportamiento natural de las vacas aumentan las afecciones sanitarias.

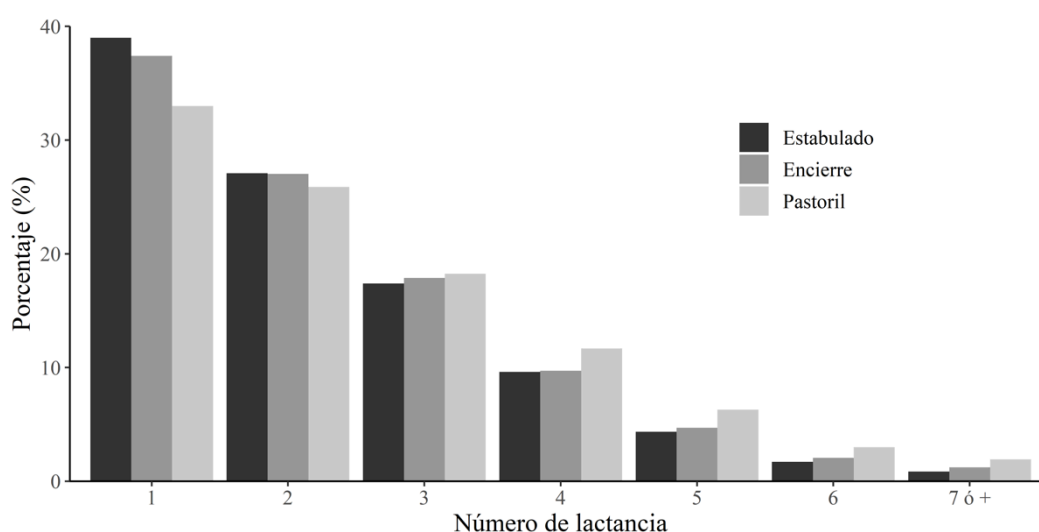


Figura 2.6. Distribución de frecuencia del número de lactancias de la población analizadas discriminadas por sistema productivo.

La distribución de la frecuencia con la que fue registrado el evento muerte se caracteriza por una concentración que supera el 50% de los casos en los dos primeros meses posparto, independientemente del sistema productivo (Figura 2.7). Estos resultados se condicen con los reportados por Busso et al. (2009) para rodeos pertenecientes a establecimientos productivos de Argentina. Esta concentración particular de muertes en el mes posterior al parto en parte se explica porque, para poder afrontar una nueva lactancia, los animales experimentan numerosos cambios metabólicos relacionados con el suministro de energía y calcio direccionado hacia el tejido secretor que deterioran la función de los neutrófilos, células inmunitarias que son de importancia crítica en las primeras etapas de la

defensa contra varias enfermedades comunes de las vacas lecheras al comienzo lactancia (Leblanc, 2020b). Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la cantidad de muertes en el primer mes posparto entre el sistema pastoril vs estabulado y encierre ($p < 0,001$). En el segundo mes posparto se encontró diferencia entre estabulado y pastoril ($p < 0,001$). Finalmente, en el octavo mes posparto se encontraron diferencias entre encierre y pastoril ($p < 0,01$).

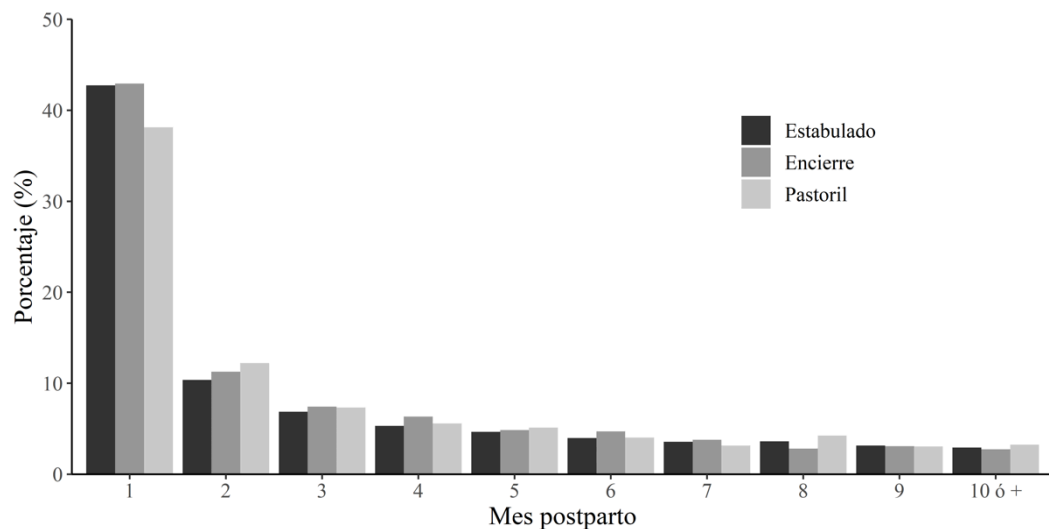


Figura 2.7. Distribución de frecuencia de muertes en los meses posteriores al parto de la población analizadas discriminadas por sistema productivo.

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que, independientemente del sistema productivo, las lactancias con alta eficiencia reproductiva logran disminuir la cantidad de días abiertos del rodeo tanto para vacas primíparas como multíparas. Esta disminución es de por lo menos un ciclo estral, lo que demuestra que aún es posible mejorar el desempeño reproductivo de los rodeos lecheros de Argentina.

La situación económica requiere prácticas de gestión eficientes para aumentar la rentabilidad de las operaciones lecheras. El monitoreo oportuno y consistente con

mediciones precisas de los indicadores productivos y reproductivos es crucial para tomar buenas decisiones de manejo dirigidas a reducir los días improductivos y mejorar la sustentabilidad de los rodeos lecheros. Aunque las prácticas de manejo en los rodeos lecheros comerciales varían en todo el mundo, el principal objetivo reproductivo es que las vacas queden preñadas de manera oportuna después del parto. El desempeño reproductivo de los rodeos lecheros afecta de manera directa el resultado económico de los sistemas productivos, determinando el rechazo prematuro de animales sin éxito reproductivo, menor disponibilidad de animales para reposición, la producción de leche y la eficiencia de conversión asociada a la relación litros producidos por cada unidad de alimento consumido.

El conocimiento de las características particulares de cada sistema productivo permite no solamente mejorar la toma de decisiones, sino que también permite la comparación con sistemas semejantes y de esta manera fijar objetivos tendientes a mejorar el funcionamiento general del establecimiento. Además, contar con información confiable permite evaluar el desempeño a través de indicadores y evaluar la situación actual. Es en este punto donde radica la importancia crucial de poder contar con registros de calidad, los que pueden transformarse en información, permitiendo desarrollar estrategias para poder atender aquellas áreas productivas con mayores necesidades, direccionando los esfuerzos de una manera más eficiente. Asimismo, el conocimiento particular de los sistemas de producción de leche puede ser de utilidad para diagramar estrategias políticas sectoriales.

CAPÍTULO 3

EFFECTO DE EVENTOS SANITARIOS SOBRE INDICADORES REPRODUCTIVOS Y PRODUCTIVOS EN RODEOS LECHEROS DE ARGENTINA

INTRODUCCIÓN

Las vacas lecheras experimentan una creciente ocurrencia de enfermedades en las semanas inmediatamente posteriores al parto (Dänicke et al., 2018; Wisnieski et al., 2019), pero el diagnóstico temprano y preciso sigue siendo un desafío. Estos desordenes clínicos impactan en la rentabilidad de la actividad lechera. Por otra parte, para entender y manejar la producción lechera, resulta de utilidad describir y conocer la curva de lactancia (Macciotta et al., 2011; Piccardi et al., 2014). Una curva de lactancia es una representación gráfica del rendimiento diario de leche durante una lactancia completa y por tanto es una medida sensible de la salud de la vaca (Wittrock et al., 2011; Hostens et al., 2012; Piccardi et al., 2017). Además de permitir el análisis de la producción, la estimación de la curva lactancia provee parámetros que son fundamentales para determinar el costo reproductivo (de Vries, 2006) ya que los cambios en producción suelen ser respuesta del rodeo a una intervención o cambio en el sistema reproductivo. Sin embargo, se debe tener precaución en la idoneidad del modelo para ajustar los rendimientos de leche basados en un control mensual lechero, ya que la producción de leche se ve afectada por la salud animal, la higiene del ordeño, la nutrición adecuada, el bienestar animal, el medio ambiente, el

manejo y otros factores que pueden variar día a día y de tambo en tambo (Leblanc, 2010). Existe mundialmente una preocupación creciente por un aumento concomitante de los problemas de salud y fertilidad (Ribeiro et al., 2016; Kumar et al., 2017; Roche et al., 2018). Estos pueden, en cierta medida, disminuir los beneficios de un mayor rendimiento a través de reducciones en la cantidad y calidad de la leche que vende el tambo y el aumento de los costos asociados con los tratamientos veterinarios y los animales de reemplazo (Hogeveen et al., 2019; de Vries y Marcondes, 2020). El desarrollo de enfermedades puede afectar negativamente el pico de producción, la producción de leche durante la lactancia (Carvalho et al., 2019) como así también puede tener un impacto directo en el tracto reproductivo dificultando el retorno a la actividad cíclica en vacas lecheras (Santos et al., 2011).

Entre las enfermedades más frecuentes en vacas lecheras se incluyen mastitis clínica y subclínica, las enfermedades uterinas (Leblanc, 2010b; Giuliadori et al., 2013a, 2013b, 2017) e hipocalcemia (Venjakob et al., 2018). Los eventos metabólicos que comienzan dos semanas antes del parto tienen efectos sobre la salud reproductiva de 1 a 9 semanas después del parto, lo que a su vez tiene efectos sobre el rendimiento reproductivo semanas o meses después (Mulligan y Doherty, 2008; Leblanc, 2010b; Cardoso et al., 2020).

Argentina es uno de los países productores de leche más importantes de América del Sur y 1 de los 11 países del mundo con más de 100 vacas por establecimiento de producción, contribuyendo aproximadamente con el 1,5% de la producción mundial de leche (Lazzarini et al., 2019). A pesar de que en Argentina los establecimientos lecheros son predominantemente de tipo pastoril, en los últimos años se han desarrollado sistemas estabulados y del tipo de encierre permanente (vacas que permanecen en corrales abiertos, por su sigla en inglés se los conoce también como dry-lots) como sistemas confinados. Aunque los sistemas sin pastoreo muestran una mayor producción de leche por vaca en comparación con los sistemas pastoriles, tienen costos de alimentación más altos, lo que puede afectar la rentabilidad de los tambos. Además, también pueden causar impactos ambientales negativos (Llanos et al., 2018). La ocurrencia de afecciones sanitarias en los rodeos lecheros puede perjudicar aún más el rendimiento económico de los

establecimientos lecheros. Por esto, el objetivo de este trabajo fue estimar efectos de enfermedades clínicas sobre el desempeño productivo y reproductivo de vacas lecheras en Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

La base de datos analizada contiene información sobre los eventos sanitarios (enfermedades clínicas), así como eventos reproductivos y productivos de 21 tambos distribuidos en las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe para los años 2016, 2017 y 2018 y consta de 15.423 lactancias completas de 11.924 vacas. La base de datos corresponde a la compañía DairyComp - Clientes Ciale Alta Advantage. Para el análisis, se incluyeron vacas multíparas de tercera lactancia o mayor. Sólo se contemplaron aquellas lactancias que contaron con al menos seis controles lecheros. Los sistemas productivos en los establecimientos analizados fueron estabulados (36%), encierre permanente (45%) y pastoril (19%), realizando entre 2 y 3 ordeños diarios.

Análisis sanitario

Los eventos sanitarios estudiados fueron mastitis, enfermedades reproductivas y metabólicas y desplazamiento de abomaso. Con esto, las lactancias se clasificaron según la

existencia de enfermedad clínica como (1) lactancias con al menos un evento sanitario (CES) o (2) lactancias sin eventos sanitarios (SES). Esto fue complementado con los registros productivos provistos por el control lechero mensual de cada individuo (litros/vaca/día). Para todos los eventos sanitarios antes mencionados, menos para mastitis, sólo se consideró su primer registro para cada lactancia. Para mastitis, dado que es una enfermedad que puede ser recurrente en el mismo animal, se la contabilizó de manera sucesiva hasta los 4 eventos considerando como un evento nuevo sólo si entre los registros había un lapso de 14 días tal como fue realizado por Pantoja et al. (2016).

Aspectos productivos

Se ajustó a cada lactancia la función MilkBot (Ehrlich, 2011) [3.1] para la producción de leche en el día t :

$$Y_t = a \left(1 - \frac{1}{2} e^{\frac{c-t}{b}} \right) e^{-dt} \quad [3.1]$$

Esta función consta de 4 parámetros; el parámetro a llamado *escala* el cual es un multiplicador que determina la magnitud total de la producción de leche y se expresa en l/d. El modelo MilkBot también se ajustó para cada una de las lactancias registradas como un modelo de efectos fijos y como un modelo mixto, con un efecto aleatorio adicional, asociado al parámetro a . El parámetro b , *rampa*, que controla la velocidad del incremento de la producción de leche en la lactancia temprana y se expresó en días. Se interpreta en términos de tiempo entre el parto y alcanzar el rendimiento máximo de leche. El parámetro c , *desplazamiento*, representa el desplazamiento en tiempo entre el momento del parto y el momento en que se da la mayor tasa de incremento en la producción de leche; se expresó

en días. Este parámetro, puede ser positivo, negativo o cero, lo que luego refleja el hecho de que la lactancia comienza en el momento exacto del parto. Por último, el parámetro d , o *decaimiento*, controla la pérdida de la capacidad productiva y se expresó como (días)⁻¹. Este parámetro está asociado con la persistencia de la lactancia, es decir la capacidad de la vaca para mantener la producción en un nivel alto después del rendimiento máximo (Janković et al., 2016). Utilizando dichos parámetros se calcularon los indicadores producción al pico ($Ppico$) [3.2] y la producción acumulada a los 305 días en leche ($305PL$) [3.3] a través de las siguientes expresiones:

$$Ppico = c - b \log \log \left[\frac{(2 b d)}{(1+b d)} \right] [3.2]$$

$$305PL = \frac{\left(\left(\frac{a - a e^{(-305d)}}{d} \right) + \left(a b e^{\left(\frac{c}{b} \right)} \left(-1 + e^{-305 \left(\frac{1}{b} + d \right)} \right) \right) \right)}{(2+2bd)} [3.3]$$

Posteriormente, se empleó un modelo lineal mixto para modelar cada uno de los indicadores y poder comparar el grupo de lactancias CES y el grupo de lactancias SES. La presencia/ausencia de desórdenes clínicos se modeló como un factor de efectos fijos y se consideró como efecto aleatorio el efecto “tambo”. Para la comparación de medias se utilizó la prueba LSD Fisher ajustada provista en el software estadístico *InfoStat* (di Rienzo et al., 2020). El nivel de significancia considerado fue $\alpha=0,05$.

Aspectos reproductivos

Entre los indicadores reproductivos, se analizó los “días vacíos” y los “días al descarte” desde el enfoque de los análisis de sobrevida. El análisis de sobrevida es un método estadístico que trabaja con el concepto de datos censurados para estudiar la ocurrencia de un evento o bien el tiempo que transcurre hasta que ocurre un evento. Ha sido usado para estudiar la sobrevida de individuos en función de una variable independiente llamada evento, de naturaleza dicotómica (en nuestro caso, preñada o vacía / descartada o no). Es un cambio cualitativo del estado del individuo. En el análisis de datos censurados el evento de interés se sitúa en el tiempo. En nuestro análisis se realizó un seguimiento en el tiempo de los animales desde la fecha 01/01/2016 hasta 26/12/2018, registrando los días en que cada vaca en sus lactancias experimenta el evento de interés (preñada y descartada). Hay individuos que pueden no experimentar el evento dentro del período de tiempo del estudio; a estas observaciones se las denomina datos censurados. Para el caso del indicador “días vacía”, se refiere al animal que no se logró preñar o bien se la dejó de observar ya que se terminó la recolección de los datos (26/12/2018). Otros motivos por los cuales se dejó de observar a una vaca durante el estudio fueron: animales que dejan de pertenecer a la lista de elegibles para los servicios, animales que mueren durante el estudio y animales que se sentencian a irse del rodeo y luego se venden. Para el indicador “días al descarte”, los datos censurados se refieren al animal que no se rechazó, no se vendió o no se murió a lo largo de la lactancia. Para lactancias pertenecientes a los grupos de CES y SES, se obtuvieron curvas según el algoritmo de Kaplan y Meier para días vacíos y días al descarte y se comparó la igualdad de dos o más curvas de sobrevida con el estadístico Log Rank (Kaplan y Meier, 1958).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ocurrencia de enfermedades

De un total de 15.423 lactancias, 8.715 (56,51%) presentaron al menos un caso clínico de mastitis. Además, de las 8.715 que presentan al menos un caso clínico, 3.811 (24,71%), 2.213 (14,35%), 1.378 (8,93%) y 1.313 (8,51%) lactancias presentaron uno, dos, tres y cuatro casos de mastitis, respectivamente. De un total de 15.423 lactancias, 3.452 (22,38%) y 3.232 (20,96%) tuvieron enfermedades reproductivas y metabólicas, respectivamente. Con menor frecuencia, 413 (2,68%) y 178 (1,15%) lactancias presentaron hipocalcemia y desplazamiento de abomaso, respectivamente. La proporción de los eventos sanitarios estudiados distribuidos según el mes posparto se muestra en la Figura 3.1. Los casos de mastitis sobre el total de eventos analizados fueron incrementándose proporcionalmente a lo largo de la lactancia, representado un 27,3% en el primer mes hasta llegar a representar 96,3% al cuarto mes, donde comienza a mantenerse con valores similares. Con respecto a enfermedades reproductivas las proporciones de casos se reducen de 31,9% en el primer mes a 2,2% al cuarto mes post parto. En lo referido a enfermedades metabólicas, también se encontró una reducción de casos proporcional de 34,9% a 0,9% desde el primer al cuarto mes post parto. Por último, los eventos de hipocalcemia y desplazamiento de abomaso, el comportamiento fue similar, siendo el primer mes post parto el de mayor ocurrencia proporcional seguido por el segundo mes con valores de 4,2 a 0,2%, 1,6 a 1%, respectivamente. Además, la Figura 3.2 presenta la distribución del número de casos clínicos acumulados en los meses posparto destacando la alta ocurrencia de enfermedades que suceden en el primer mes post parto.

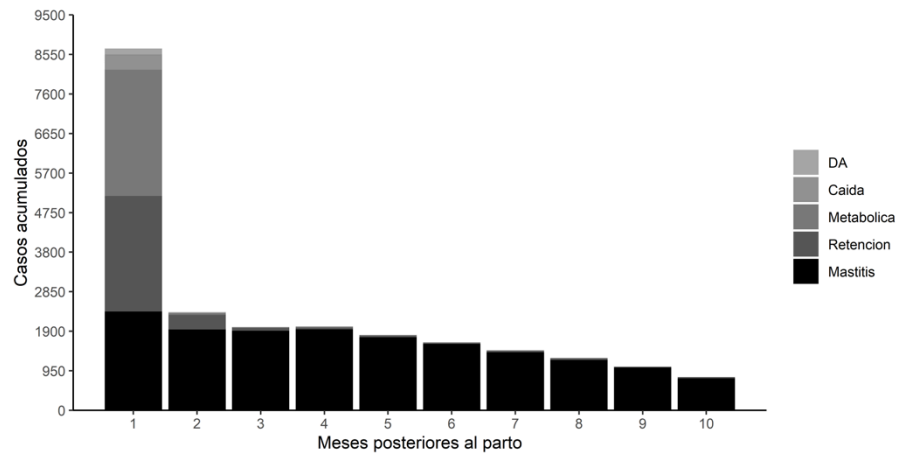


Figura 3.1: Casos acumulados de primeros eventos sanitarios clínicos registrados en el estudio para cada mes posterior al parto. Para mastitis clínica, se consideró un nuevo episodio en el mismo cuarto de la ubre luego de 14 días.

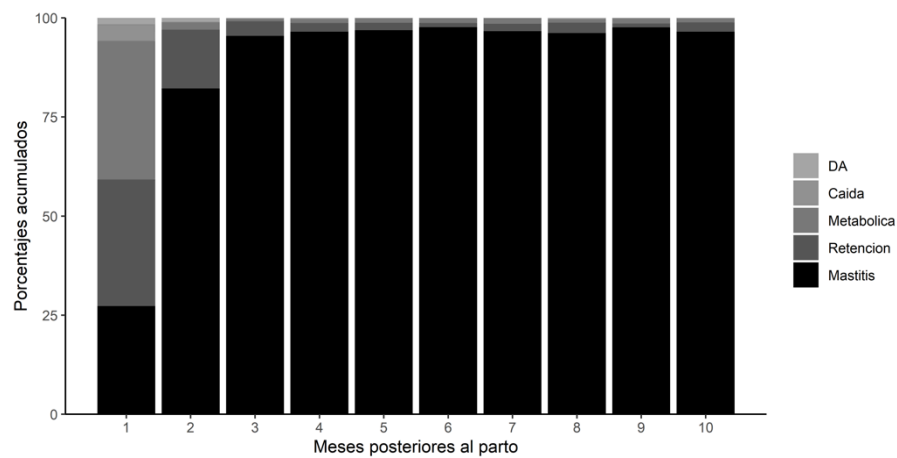


Figura 3.2: Porcentajes acumulados de primeros eventos sanitarios clínicos registrados en el estudio para cada mes posterior al parto. Para mastitis clínica, se consideró un nuevo episodio en el mismo cuarto de la ubre luego de 14 días.

Los problemas sanitarios cambian el desempeño de los rodeos lecheros, afectando no sólo las ganancias actuales, sino que también ponen en riesgo el valor futuro de la vaca (Liang et al., 2017). La transición del parto a la lactancia temprana implica importantes desafíos metabólicos para la vaca lechera. Los animales que experimentan una inadecuada

adaptación durante este período de transición pueden tener problemas sanitarios en el posparto temprano y comprometer de esta forma el rendimiento de lactancia (Roche et al., 2018). El principal objetivo de este estudio fue estimar los efectos de los eventos sanitarios en la producción de leche, la reproducción y el descarte de vacas lecheras a lo largo de 305 días en lactancia. Durante la lactancia temprana, las vacas lecheras experimentan un aumento repentino y marcado en el requerimiento de nutrientes para producir leche, que a su vez coincide con los niveles más bajos de consumo de materia seca. A pesar de los controles homeostáticos que se desencadenan para afrontar los cambios metabólicos provocados por el inicio de la lactancia, entre el 40 y el 70% de los animales desarrollan una infección o enfermedad metabólica durante el primer mes de lactancia (Ribeiro et al., 2016). Además, en nuestro estudio se evidenció que, desde el parto hasta los 305 días en la leche, 10.972 lactancias (72%) tuvieron al menos un evento sanitario. En concordancia con lo publicado por Leblanc (2010b) y Ribeiro y Carvalho (2017), las patologías más estrechamente relacionadas con el período de transición (caracterizado principalmente por disminuciones en el consumo, balance energético negativo, resistencia a la insulina y respuesta inmune reducida) se observaron con una frecuencia proporcionalmente mayor durante el primer y segundo mes de lactancia, representando el 66% del total. Después de este período, mastitis fue la enfermedad predominante, ya que el 34% de las lactancias presentó al menos su primer caso clínico, ubicando a esta patología como una de las principales enfermedades que afectan a los tambos comerciales (Hogeveen et al., 2019). Es importante mencionar que, tanto casos de mastitis clínica como así también subclínica, atentan contra la producción de leche, la eficiencia reproductiva y la vida productiva de las vacas lecheras (Kumar et al., 2017; Dahl et al., 2018; Hertl et al., 2018).

Las enfermedades metabólicas y reproductivas fueron las que siguieron en frecuencia de aparición después de la mastitis, con 22 y 21%, respectivamente, a lo largo de la lactancia. Aunque se encontraron bajas frecuencias de desplazamiento de abomaso e hipocalcemia a lo largo de la lactancia (solo 1% y 3% de las lactancias analizadas, respectivamente), se concentraron principalmente durante los dos primeros meses posparto. Después del parto, las concentraciones de calcio se encuentran asociadas con una mayor ocurrencia de enfermedades y una disminución en la producción de leche. Por otra

parte, las concentraciones de calcio pre y post parto están relacionadas con una disminución de la concepción en el primer servicio (Chapinal et al., 2012).

Producción de leche

Un total de 4.451 (28%) lactancias no tuvieron eventos sanitarios mientras que 10.972 (72%) lactancias tuvieron al menos uno. Las estimaciones de los parámetros poblacionales de la curva para CES y SES se presentan en la Tabla 3.1. En este trabajo, la presencia de eventos sanitarios disminuyó el indicador *305PL* (9.861,3 vs 10.013,6 kg; $p < 0,001$). Para *305PL* y *Ppico* de la lactancia, las diferencias entre los grupos de vacas CES y SES, fueron estadísticamente significativas ($p < 0,0001$). En la Tabla 3.2 se puede observar las estimaciones mínimo-cuadráticas de los *305PL* y *Ppico*. Para ambas variables, los promedios alcanzados por el grupo SES, vacas que no tuvieron ningún evento sanitario, fueron siempre superiores al grupo CES, con al menos un evento sanitario durante toda la lactancia.

Tabla 3.1. Estimaciones de los parámetros de la lactancia para animales con al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES) durante toda la lactancia. Curvas

ajustadas como modelo mixto con efecto aleatorio asociado al parámetro a para el modelo de Milkbot.

Parámetr	CES	SES
o	Media \pm EE	Media \pm EE
a	38,7 \pm 0,33	37,2 \pm 0,26
b	27,6 \pm 0,66	15,1 \pm 0,46
c	10,8 \pm 0,24	5,8 \pm 0,19
d	0,0018 \pm 0,00002	0,0017 \pm 0,00001

Tabla 3.2. Producción acumulada a los 305 días en leche (305PL) y producción al pico de lactancia (Ppico) para animales con al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES) durante toda la lactancia.

Indicador productivo	CES	SES	P-valor
	Media \pm EE	Media \pm EE	
305PL	9.861,3 \pm 22,2	10.013,6 \pm 22,3	<0,001
Ppico	39,5 \pm 1,0	40,2 \pm 1,0	<0,001

La reducción en la producción de leche no se circunscribe únicamente a las pérdidas inmediatas que ocurren durante el tratamiento del evento sanitario, razón por la cual las consecuencias de la enfermedad clínica para la lactancia se extienden a períodos posteriores a la resolución clínica (Drackley, 1999). Además, los problemas sanitarios alteran el rendimiento de las vacas lecheras, lo que no solo afecta las ganancias actuales, sino que también aumenta el riesgo de descarte, lo que tiene un efecto negativo en el valor potencial de una vaca (Liang et al., 2017). El modelo de lactancia MilkBot es una opción

que se ha probado para modelar los datos de la producción media diaria de leche ajustando los valores de cuatro parámetros (Janković et al., 2016; Piccardi et al., 2017). Hostens et al. (2012) emplearon este modelo y concluyeron que el análisis de la curva de lactancia contribuye sustancialmente a la evaluación de los efectos de las enfermedades metabólicas en las vacas lecheras.

Tal como fue reportado por estudios previos (Raboisson et al., 2014; Carvalho et al., 2019), en nuestro estudio, la producción de leche de vacas que tuvieron al menos un evento sanitario fue aproximadamente 150 kg menor en comparación con animales que no presentaron afecciones durante la lactancia. Las diferencias significativas en la *Ppico* encontradas entre grupos pueden atribuirse al tamaño de la muestra. Los efectos negativos de las afecciones sanitarias fueron también estudiados por (Giuliodori et al., 2013b), quienes encontraron que vacas que desarrollaron metritis disminuyeron la ingesta de alimento. Una explicación de las disminuciones en la producción de leche podría ser la menor disponibilidad de energía para su síntesis (Wittrock et al., 2011). Un menor consumo tiene efectos negativos sobre la producción de leche, la condición corporal y la ciclicidad posparto (Huzzey et al., 2007; Ribeiro y Carvalho, 2017). En el caso de mastitis, la producción de leche se ve afectada por la enfermedad sistémica a través de la pérdida de apetito y, por lo tanto, una reducción en el consumo de energía (Adriaens et al., 2018).

Días vacíos y días a descarte

Las curvas de sobrevivencia resultaron estadísticamente diferentes entre los grupos CES y SES para los dos indicadores “días vacíos” y “días a descarte” ($p < 0,001$). Para el indicador “días vacíos”, el tiempo posparto en el que se preñó el 50% de los animales para el grupo CES fue de 181 días (95%IC = 177; 185), y para el grupo SES fue de 126 días (95%IC = 121 ;132), indicando un retardo de 55 días para lograr el mismo porcentaje de animales preñados en el grupo CES que en el grupo SES (Figura 3.3).

Con respecto al indicador “días a descarte”, la mediana del tiempo en donde se descarta el 50% de los animales para el grupo CES fue de 518 días (95%IC = 508; 527), y para el grupo SES fue de 563 días (95%IC = 541; 586) (Figura 3.4). Por lo tanto, las vacas CES fueron descartadas de los rodeos 45 días antes que las vacas SES.

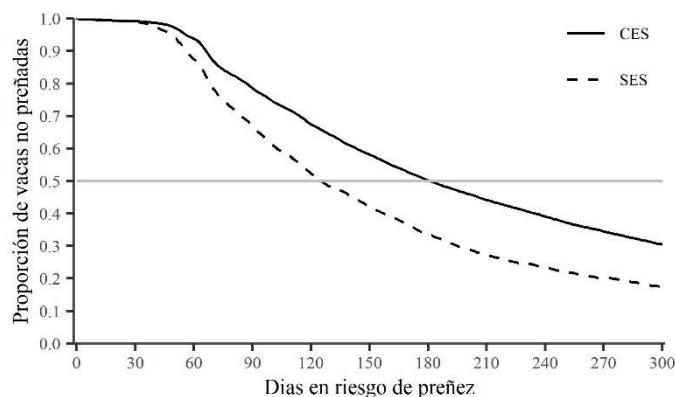


Figura 3.3. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para la preñez de vacas con al menos un evento sanitario (CES; mediana=181) y sin eventos sanitarios (SES; mediana=126) durante toda la lactancia.

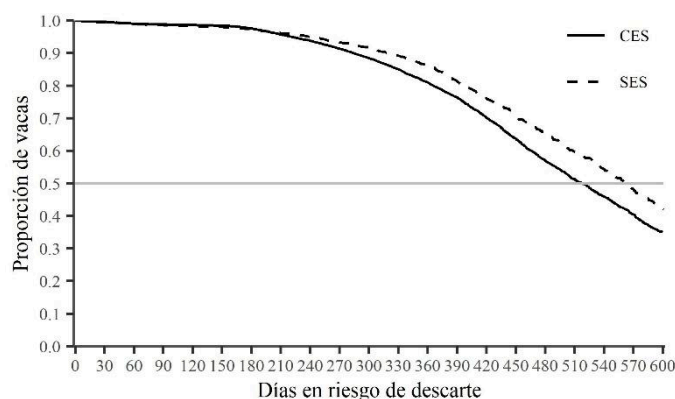


Figura 3.4. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para el descarte o muerte de vacas con al menos un evento sanitario (CES; mediana=518) y sin eventos sanitarios (SES; mediana=563) durante toda la lactancia.

A pesar de que los mecanismos por los cuales las enfermedades posparto afectan el rendimiento de la lactancia difieren según el tipo de enfermedad, la interrelación de la enfermedad es bien conocida y se describió previamente (Curtis et al., 1985; Goff y Horst,

1997). Por ejemplo, la hipocalcemia subclínica se asocia con un mayor riesgo de incurrir en cetosis, desplazamiento de abomaso, metritis y retención placentaria. Además, esta enfermedad retrasa la aparición del primer estro post parto y reduce la expresión de los signos de celo (Rodríguez et al., 2017). Además, la hipocalcemia subclínica al parto se asoció con una baja fertilidad en un rodeo de vacas lecheras en pastoreo (Umaña Sedó et al., 2018). Los resultados del presente trabajo indican que una afección sanitaria durante la lactancia tiene un impacto en el desempeño reproductivo, extendiendo el intervalo comprendido entre el parto y la concepción (días vacíos). El análisis del tiempo hasta una preñez confirmada mostró que el tiempo medio para vacas sin eventos sanitarios fue 55 días más corto que el tiempo medio para aquellas vacas que tuvieron al menos un evento. Similares resultados fueron previamente publicados (Dubuc et al., 2011; Santos et al., 2011; Ribeiro y Carvalho, 2017) y enfatizan la importancia que tienen los problemas sanitarios posteriores al parto en los establecimientos lecheros. Los eventos sanitarios que ocurren en el posparto tienen influencia en la supervivencia de las preñeces a largo plazo (Carvalho et al., 2019). Después del parto, las defensas inmunitarias del útero pueden debilitarse por la pérdida del epitelio luminal del endometrio, que es parte del sistema inmunológico innato (Hansen, 2013). El sistema inmunológico participa en la luteinización de los folículos y ovulación, el transporte de espermatozoides y el reconocimiento materno de la preñez. Por lo tanto, una función inmunológica alterada ha sido identificada como una de las principales causas que puede explicar la infertilidad (Fair, 2015). Además, vacas diagnosticadas con afecciones sanitarias tuvieron menos probabilidades de estar ciclando a los 65 días posparto y aumentaron el riesgo de tener una pérdida embrionaria durante los primeros 60 días de gestación. Por esto, vacas sanas lograron una mayor fertilidad, llegando a un 51,4% de preñez por servicio en la primera inseminación posparto (Santos et al., 2011). La ocurrencia de enfermedades en animales durante el periodo de servicios puede tener varios impactos, como la reducción de la fertilización de los ovocitos y la reducción de la supervivencia del cigoto hasta la etapa de mórula. Además, las consecuencias de los eventos sanitarios muestran un efecto de que se puede expandir por más de 4 meses (Ribeiro et al., 2016).

Las condiciones sanitarias afectan indirectamente la política de descarte debido a la modificación del valor potencial de la vaca (de Vries, 2006; Liang et al., 2017). La baja eficiencia reproductiva de los rodeos contribuye al rechazo prematuro de animales. El descarte tiene graves consecuencias en la economía de los tambos comerciales y contribuye en gran medida a los costos asociados con la enfermedad clínica posparto (Rollin et al., 2015), así como a un menor crecimiento del rodeo. Los resultados del presente estudio enfatizan las consecuencias negativas de la ocurrencia de afecciones sanitarias sobre el riesgo de descarte. En este estudio, vacas sin eventos sanitarios permanecieron más tiempo (aproximadamente 45 días) en el rodeo en comparación con aquellas que manifestaron al menos un caso clínico. Nuestros resultados concuerdan con estudios anteriores en los que se indica que vacas con enfermedades clínicas durante el posparto fueron descartadas antes que aquellas sin enfermedades (Venjakob et al., 2018; Carvalho et al., 2019). El impacto de los eventos sanitarios en la fertilidad parece estar mediado por una combinación de múltiples mecanismos que tienen efectos aditivos (Ribeiro y Carvalho, 2017). En lugar de considerar las consecuencias específicas de los problemas sanitarios, se los consideró de una manera más general para poder cuantificar mejor el impacto en la productividad y el desempeño reproductivo durante la lactancia. Los resultados muestran que las consecuencias de una enfermedad clínica no se limitan únicamente al período en que se desarrolla la enfermedad, más aún se extiende a periodos posteriores a la resolución clínica de la enfermedad, evidenciando un efecto residual.

CONCLUSIONES

Estos resultados pueden constituir una herramienta útil para la gestión de un establecimiento de producción de leche. Una gestión que invierte en la prevención de enfermedades y detección oportuna resultará en un aumento de los ingresos y de la calidad del producto. Para profundizar los análisis estadísticos y poder contribuir con una herramienta sólida para decisiones administrativas tempranas, se debe contar con registros diarios de producción y estado sanitario de cada vaca. Las consecuencias a largo plazo de

las enfermedades son más difíciles de medir y no son consideradas con frecuencia. Las enfermedades clínicas tienen un efecto residual negativo sobre la producción y reproducción de las vacas lecheras. Por tanto, la prevención de problemas sanitarios mejora el desempeño productivo y reproductivo. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para evaluar las consecuencias de los eventos sanitarios en la vida productiva de los animales.

CAPÍTULO 4

EVALUACION ECONOMICA BASADA EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva de los rodeos lecheros es un componente crítico en la rentabilidad de las empresas lecheras. Así mismo, fallas para lograr y mantener preñeces oportunas son las principales razones de las pérdidas de producción (Pinedo et al., 2020). Entre las consecuencias de la ineficiencia reproductiva se incluyen un porcentaje reducido de vacas en las primeras etapas de la lactancia, aumentos en los costos de inseminación y retraso en el progreso genético (Santos et al., 2011). Además, una de las causas más frecuentes de descarte es la disminución de la fertilidad que conduce a una baja producción de leche (Pinedo y de Vries, 2010). Por otro lado, se han identificado múltiples variables

como factores que contribuyen a una disminución persistente de la fertilidad de las vacas lecheras durante las últimas décadas (Lucy, 2001; Santos, Cerri, et al., 2004; Gonzalez-Recio et al., 2006; Norman et al., 2009). La falta de optimización del control reproductivo, el manejo nutricional inadecuado y la aparición de enfermedades, combinados con intensos incrementos en el potencial genético de la producción de leche, han contribuido, al menos en parte, al problema.

Por otra parte, la mortalidad embrionaria temprana en vacas lecheras lactantes es probablemente una de las principales causas de infertilidad (Santos, Cerri, et al., 2004; Diskin et al., 2006). Las condiciones uterinas subóptimas y los embriones menos competentes son las principales fallas reproductivas y se ven afectadas por numerosos factores genéticos y no genéticos. Sin embargo, los casos clínicos de enfermedades, principalmente inflamatorias, se han identificado como una de las causas importantes de problemas reproductivos en los rodeos. Parece cada vez más evidente que la salud animal es imprescindible para una reproducción óptima en las vacas (Ribeiro y Carvalho, 2017). Entre un 40 y 70% de las vacas lecheras en diferentes niveles de producción de leche, razas y sistemas de manejo desarrollan enfermedades metabólicas o infecciosas en los primeros meses de lactancia (Santos et al., 2011; Ribeiro et al., 2013). Estos problemas de salud no solo provocan reducciones en la producción de leche y aumentos en los costos de producción, sino que también reducen el desempeño reproductivo de las vacas lecheras (Santos et al., 2011; Ribeiro et al., 2013), lo que en consecuencia perjudica la sostenibilidad de los rodeos lecheros (Ribeiro et al., 2013).

La eficiencia reproductiva se ve afectada por varios factores, algunos fundamentales desde la perspectiva económica (de Vries, 2006). Un indicador útil de la eficiencia reproductiva es el intervalo parto concepción o días vacíos (DV). Aumentos de los DV reduce la rentabilidad ya que disminuye la producción por vaca por año y la disponibilidad de vaquillonas de reemplazo (Bailie, 1982; Lucy, 2019). Se ha usado al indicador DV para la estimación del costo de la no preñez a través de la estimación del costo de un día adicional que un animal permanezca vacío (Inchaisri et al., 2010; Cabrera, 2014). Otros autores han utilizado modelos de simulación en tambos para calcular ese costo (Groenendaal et al., 2004; Crociati et al., 2020). Meadows et al. (2005) encontró

bajos valores para el beneficio marginal derivado del mejoramiento en la eficiencia reproductiva. En Argentina, poco se conoce de estos costos, no obstante, es claro que cuando el desempeño reproductivo aumenta, existe un cambio favorable en el retorno neto, pero su importancia relativa respecto a indicadores de eficiencia productiva no es conocida (Cattaneo et al., 2015). La estimación de probabilidades de descartes y pérdidas de animales por muertes también debe ser contemplada para el análisis de estas eficiencias.

Cabrera (2010) desarrolló un modelo bioeconómico, *Dairy Reproductive Economic Analysis*, que simula tambos y cuyos cálculos se basan en las probabilidades de ocurrencia de distintos eventos interpretados como indicadores de eficiencia reproductiva y también de eficiencia productiva (Cabrera, 2012). Los indicadores que alimentan este modelo deben ser calculados para intervalos de tiempo desde el primer parto hasta el noveno parto si se desea una medida global de eficiencia del establecimiento. Los eventos involucrados en el aspecto reproductivo del modelo son: preñez, parto, aborto, descarte, y venta; y en el aspecto productivo del modelo son los parámetros de la curva de lactancia. Específicamente, se utiliza la curva de lactancia del modelo de Milkbot (Ehrlich, 2011). El modelo bioeconómico concatena los eventos a través de una cadena markoviana (Geyer, 1992) para modelar transiciones y cambios de estados en el rodeo. Esto lleva, después de numerosas iteraciones, al proceso simulado a un estado de convergencia, donde la cantidad de animales en los distintos estados o condiciones no cambia sustancialmente de una iteración a otra. Las probabilidades de transición son definidas como las probabilidades que un grupo de vacas pasan de un estado a otro.

Entre los costos y ganancias que se tienen en cuenta en el modelo (Cabrera, 2010) está el precio de la leche, el costo de una vaquillona de reposición, el costo del protocolo reproductivo utilizado, el valor de un ternero/a al parto, de una vaca descarte y, por último, las ganancias de la producción de leche descontando el costo de la alimentación. De esta manera, el retorno neto de cada vaca en el rodeo en un tiempo específico puede ser estimado como la agregación o sumatoria de los siguientes factores económicos como los ingresos sobre los costos de alimentación, los costos por posible descarte, los costos por posible mortandad, los ingresos por posibles ventas de terneros y terneras, y los costos reproductivos. Una vez que el estado de la población en la cadena de Markov converge, se

conoce la distribución de animales en diferentes estadios y se calcula el retorno neto del rodeo multiplicando la proporción de animales en cada estadio por el retorno neto estimado en cada uno. El retorno neto del rodeo refleja la eficiencia reproductiva y productiva y, consecuentemente, se puede usar este retorno para evaluar diferentes estrategias de manejo del rodeo.

Esta convergencia o estabilización de la población de animales en diferentes estadios es directamente influenciada por las probabilidades iniciales asignadas a los diferentes eventos relacionados al desempeño tanto reproductivo como productivo del rodeo. Tales probabilidades pueden ser estimadas desde la historia reproductiva de cada animal y desde datos provenientes de controles lecheros periódicos. Los sistemas de gestión de información de tambos proveen estadísticas que, por rudimentarias que sean, pueden ser usadas como estimadores de los parámetros requeridos para el modelo bioeconómico.

En Argentina, los establecimientos para producción de leche son predominantemente de tipo pastoril en donde las vacas pastorean durante todo el año en un sistema sin riego. Sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado una amplia gama de sistemas de producción, desde pastoriles más suplementos, hasta sistemas sin pastoreo con vacas confinadas alimentadas con una ración total mezclada. Las principales razones por las que los productores eligen sistemas sin pastoreo son la búsqueda de sistemas con mayor producción de leche por vaca, mayor confort animal y menor superficie para la producción lechera (Lazzarini et al., 2019). Entre los tipos confinamiento se pueden diferenciar aquellos donde los animales son encerrados permanentemente en corrales secos (de la traducción del inglés del término *dry-lot*) y aquellos donde los animales son alojados en galpones bajo cubierta, conocidos como estabulados (*freestall* en inglés).

Las enfermedades que se desencadenan tanto en el pre como en el post parto inmediato impactan de manera negativa en la concepción oportuna de los rodeos lecheros (Gilbert, 2019). Además, la baja fertilidad aumenta los costos veterinarios, disminuye la producción de leche, altera el patrón de producción de leche (se reduce el número de vacas en el pico de lactancia), reduce las ventas de terneros y aumenta el costo de la

inseminación artificial (IA) (Krpálková et al., 2020). A pesar de la existencia de evidencias que vinculan condiciones infecciosas y no infecciosas de la vaca con un desempeño reproductivo y productivo deficiente, poco se ha estudiado en rodeos lecheros de Argentina. En resumen, se ha detectado la falta de estudios de investigación a nivel nacional que hayan caracterizado el efecto de las enfermedades sobre la eficiencia reproductiva y también la falta del uso de modelos bioeconómicos para simular el efecto de estas enfermedades sobre la rentabilidad de los rodeos en los diferentes sistemas de producción.

Los objetivos de este trabajo fueron: (1) realizar un análisis económico de rodeos lecheros bajo diferentes sistemas productivos a través de la comparación de los resultados de la implementación de un modelo bioeconómico y (2) evaluar el impacto económico de afecciones sanitarias en los distintos sistemas productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo empleado en este trabajo utiliza probabilidades predefinidas de reproducción, aborto y descarte para simular una proporción de vacas desde un estado al siguiente. Para estimar las probabilidades de eventos se trabajó con una base de datos que contiene información sobre eventos sanitarios, reproductivos y productivos de 30 tambos distribuidos en las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe para los años 2016 - 2018. La base de datos corresponde a DairyComp - Clientes Ciale Alta Advantage. Las estimaciones se realizaron sobre un total de 137.509 lactancias finales provenientes de 90.609 vacas. Cada registro contiene información sobre el tambo, la identificación del animal, el número de lactancia, fecha de parto, fecha de concepción, nomenclatura del evento sanitario, registro de la producción del día del control lechero, la fecha del evento y los días en lactancia en que ocurre el evento. Los sistemas productivos de los establecimientos analizados son estabulado (37%), encierre permanente (40%) y pastoril (23%), realizando entre 2 y 3 ordeños diarios.

La información sanitaria de todos los tambos analizados se compuso del registro de la ocurrencia de cada caso clínico. Para el presente estudio las enfermedades analizadas fueron mastitis, enfermedades uterinas (reproductivas), hipocalcemia, desplazamiento de abomaso y enfermedades metabólicas. De esta forma, sobre el total de lactancias analizadas, el porcentaje que presentaron al menos uno de los eventos mencionados fue de 66, 50 y 59 para los sistemas estabulado, encierre y pastoril, respectivamente. Con esto, las lactancias se categorizaron según la presencia de eventos sanitarios como lactancias con al menos un caso clínico durante la lactancia (CES) y lactancias sin casos clínicos (SES).

Estimación de probabilidad

Para cada evento de interés se creó una variable que contenía el intervalo de tiempo entre la fecha del parto y el evento objeto de estudio. Luego, se generó una variable censor para indicar si el bovino efectivamente había sufrido el evento objeto de estudio (éxito=0), llamándose eventos no censurados, y si no lo había sufrido (fracaso=1), los cuales se denominan eventos censurados. Para el evento preñez se censuraron los días vacíos en los casos de animales rechazados o descartados, muertos, vendidos, o animales que, a pesar de que su condición era de preñado, luego sufrieron un aborto y no se volvieron a preñar. Además, las lactancias que no sufrieron ninguno de los eventos anteriores pero que llegaron al final del período de observación sin que estuvieran preñadas también fueron censuradas. Para el evento descarte, se censuraron las lactancias que no habían sido dadas de baja a lo largo del período de observación. Por último, para el evento aborto, se censuraron las lactancias que no habían sufrido ningún aborto.

Las probabilidades de ocurrencia de los eventos preñez, descarte y aborto necesarias para correr el modelo bioeconómico, se estimaron para las primeras cinco lactancias. Los cálculos se realizaron empleando análisis de sobrevivencia, mediante el método actuarial o tablas de vida, ya que la observación de los eventos se efectúa a intervalos fijos de tiempo (30 días). En este método, los tiempos de sobrevivencia se agrupan en intervalos. La

longitud del intervalo depende de la frecuencia con que ocurre el evento de interés y puede no ser necesariamente de la misma longitud. La desventaja principal de este método es que da estimaciones poco precisas cuando el número de individuos es pequeño. En muestras grandes, es más apropiado para obtener las estimaciones y además permite derivar una función de riesgo. Con ella es posible estimar en cada tiempo la probabilidad de que suceda el evento en ese instante, condicionado a que no haya ocurrido antes. La función de riesgo (hazard function) [4.1] marca la dinámica del proceso estudiado debido a que sus valores proveen una adecuada aproximación a la tasa de incidencia del evento de interés, lo que nos permite determinar cuál es el momento de mayor riesgo de que el individuo se preñe, sea descartado o aborte. Para estimar las funciones de riesgo para los tres eventos de interés se utilizó PROC LIFETEST de SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2011) para cada número de lactancia y para cada sistema productivo previamente definido (Ver las Tablas de Vida en el Anexo 2).

$$h(t) = \frac{P(t \leq T < t + \frac{\Delta t}{T} \geq t)}{\Delta t} \quad [4.1]$$

donde h representa la probabilidad, por unidad de tiempo t , de presentar el episodio en el lapso subsiguiente (Δt), condicionado a que éste no se había presentado antes.

Estimación de indicadores productivos

Los parámetros de las curvas de producción de leche para cada uno de los sistemas productivos fueron obtenidos a través del ajuste de curvas de lactancias mediante el

modelo de MilkBot (Ehrlich, 2011) utilizando PROC NLMIXED de SAS (SAS Institute Inc., 2011). Las estimaciones se realizaron para las cinco primeras lactancias.

La función de MilkBot [4.2] es no lineal, donde $Y(t)$ es la producción de leche en el día t de la lactancia.

$$Y(t) = a \left(\frac{\exp \frac{c-t}{b}}{2} \right) \exp^{-dt} \quad [4.2]$$

Esta función consta de 4 parámetros; el parámetro a , llamado escala, se define como un multiplicador que determina la magnitud total de la producción de leche y se expresa en l/día. El parámetro b , rampa, que controla la velocidad del incremento de la producción de leche en la lactancia temprana y se expresó en días. El parámetro c , desplazamiento, representa el corrimiento en el tiempo entre el momento del parto y el momento en que se da la mayor tasa de incremento en la producción de leche; se expresó en días. Por último, el parámetro d o decaimiento, que controla la pérdida de la capacidad productiva y se expresó como días⁻¹. Los valores iniciales utilizados se encuentran en el Anexo 1.

Determinación de valores económicos

Los valores económicos usados en la implementación del modelo fueron tomados del mercado y calculados para la situación económica Argentina a junio del año 2021 (Tabla 4.1). Entre los costos y ganancias que se tienen en cuenta en el modelo, se encuentran el precio de la leche (US\$/libra), el costo de una vaquillona de reposición (US\$/animal), el costo del programa reproductivo utilizado (US\$/vaca/21d), teniendo en cuenta los costos de labores para las inyecciones reproductivas, el costo de la detección de celos (DC), el costo de inseminación artificial dependiendo de cada escenario. El costo de

los trabajos de inyecciones es el valor estimado del trabajo por hora de un personal de campo que haga ese trabajo. Para el costo de la IA, se incluye el costo del semen y la mano de obra adicional necesaria para realizar la inseminación.

El modelo también tiene en cuenta, el precio de mercado de un ternero/a al parto de 50Kg (US\$/animal) y el precio de una vaca descarte. El valor de descarte es el retorno estimado que se obtiene por la venta de una vaca rechazo (US\$/animal). Por último, a las ganancias de la producción de leche se les descontó el costo de la alimentación. Este costo se define como el costo de un kilo de materia seca (kgMS) de la alimentación proporcionada a las vacas en ordeño. Este costo se expresa en US\$/libra MS e incluye todos los costos de compra o producción del alimento dentro del mismo campo (incluye costo de oportunidad de la tierra) y de suministro.

Tabla 4.1. Valores de mercado para la situación económica Argentina del mes de junio del año 2021¹.

Variable	Sistema productivo		
	Estabulado	Encierre	Pastoril
Precio leche (\$/l)	29,77	29,77	29,77
Costo Alimentación ² (\$/kgMS promedio)	14,36	11,97	9,57
Precio vaquillona preñada (\$/animal)	167.200	167.200	167.200
Precio vaca descarte (\$/animal)	85.000	85.000	85.000
Precio ternera 50 kg	7.250	7.250	7.250
Costo del programa reproductivo (\$/animal/21 días)	226,30	162,76	121,92

¹Valores en pesos argentinos (AR\$); ²Calculados según parámetros de la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Parámetros para el cálculo del costo de la alimentación (\$/kgMS promedio).

Dieta	Sistema productivo		
	Estabulado	Encierre	Pastoril
Silo de maíz (kgMF)	25,8	22,3	18,5
Silo de alfalfa (kgMF)	0	7,8	0
Silo de sorgo (kgMF)	5,8	0	0
Heno de alfalfa (kgMF)	1,6	0	0
Pastura de alfalfa (kgMF)	0	0	25
Maíz molido (kgMF)	8,9	7,7	5,7
Expeller de soja (kgMF)	2,3	4,9	3,8
Cascara de soja (kgMF)	0	0	1
Semilla algodón (kgMF)	1,9	2,0	0
Minerales (kgMF)	2,2	3,6	1,5
Total kgMF	48,5	48,3	55,5
Consumo Materia Seca (kgMS/VO/d)	26,3	28,3	22,1
Costo alimento por día (\$/VO/d)	377,67	338,75	211,50
Conversion (kg Leche/kg MS alimento)	1,67	1,55	1,36

Ajuste del modelo bioeconómico

Una vez obtenidas todas las entradas requeridas se corrió el modelo bioeconómico que se encuentra disponible online en: <https://dairymgt.info/markov/reader.php> (Cabrera, 2010) para cada sistema productivo en una primera instancia y luego dentro de cada sistema para lactancias CES y SES. Para el análisis estadístico, se utilizó un modelo lineal mixto para ajustar los ingresos netos tomando los sistemas productivos y la condición sanitaria como efectos fijos y el tambo como efecto aleatorio con el objetivo de poder capturar mayor variabilidad. Para la comparación de medias se utilizó la prueba LSD. La preparación de datos y el análisis estadístico se realizaron con el software *InfoStat*, versión 3.6.2 (di Rienzo et al., 2020). Las estimaciones de los parámetros se calcularon utilizando

procedimientos de máxima verosimilitud restringidos. El nivel de significancia considerado fue $\alpha=0,05$.

Costos de tratamiento

Se analizó la distribución de las afecciones sanitarias analizadas para cada sistema productivo. Para definir el perfil de las lactancias con afecciones sanitarias se estimó el percentil 75 para cada sistema, teniendo en cuenta las frecuencias de los eventos sanitarios estudiados.

La determinación de los costos del tratamiento de las enfermedades solo se realizó para aquellos eventos sanitarios bajo estudio que se encuentran registrados en la base de datos considerándolos como casos clínicos (casos subclínicos no fueron considerados).

Para determinar este costo se realizó un formulario online con 20 preguntas dirigido a técnicos especialistas y profesionales vinculados al manejo de los tambos comerciales (ver Anexo 3). Entre las preguntas se incluyó honorarios profesionales de un médico veterinario, costo de medicamentos y descartables, la asignación correspondiente al costo de mano de obra en caso de ser requerida y la cantidad de días en que la producción de leche no podía ser comercializada (debía ser descartada por estar bajo tratamiento médico).

Los registros que surgieron de la encuesta fueron depurados y analizados con el software *Infostat*, versión 3.6.2 (di Rienzo et al., 2020). En función de la naturaleza de la distribución de las distintas variables, se decidió utilizar la media para aquellas variables que consideraban costos de tratamientos mientras que la mediana para las variables que contemplaban tiempo. Las medidas resúmenes se incluyen en el Anexo 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Probabilidad de preñez

En la Figura 4.1 se presentan las probabilidades o riesgos de preñez (en porcentaje) para las primeras y terceras lactancias para los tres tipos de sistemas productivos estudiados (ver en el Anexo 2, Tablas 6 a 8, todas las lactancias). En todas las lactancias se observó que, alrededor del día 60 post parto comienza a incrementarse el riesgo de preñez llegando al pico de riesgo en el día 90 de la lactancia. Este pico se mantiene hasta el día 120 de lactancia, aproximadamente. Luego, el riesgo de preñez desciende lentamente conforme transcurren los días de lactancia. Este patrón se observó en todos los tipos de tambos independientemente de su sistema productivo. También se observó que las lactancias que no presentaron eventos sanitarios estuvieron siempre en mayor riesgo de ser preñadas en comparación con aquellas lactancias que tuvieron afecciones sanitarias. Esto fue similar para todos los sistemas productivos analizados. Los máximos valores de riesgo alcanzados por los tambos fueron en promedio 30% en las primeras 3 lactancias para aquellos animales que no presentaron eventos sanitarios, mientras que este valor fue de un 22% en promedio para aquellas lactancias que presentaron al menos un evento sanitario. Estos máximos valores de probabilidades de preñez alcanzados van decreciendo conforme va creciendo el número de lactancia. Este comportamiento fue observado en numerosos trabajos (Melendez y Pinedo, 2007; Santos et al., 2009). De esta manera, en la cuarta y quinta lactancia, los valores máximos promedios alcanzados en las lactancias sin eventos sanitarios estuvo en el orden del 23% de preñez, siendo este valor para aquellas lactancias con al menos un evento sanitario de 18%. En todas las lactancias y en todos los tipos de tambo se aprecia que, en la última parte de la lactancia, aproximadamente luego de los 300 días, el riesgo de preñez estimado tiene un comportamiento errático, pero esto podría deberse a que hay menos lactancias que sean tan largas, y por lo tanto la estimación es menos precisa.

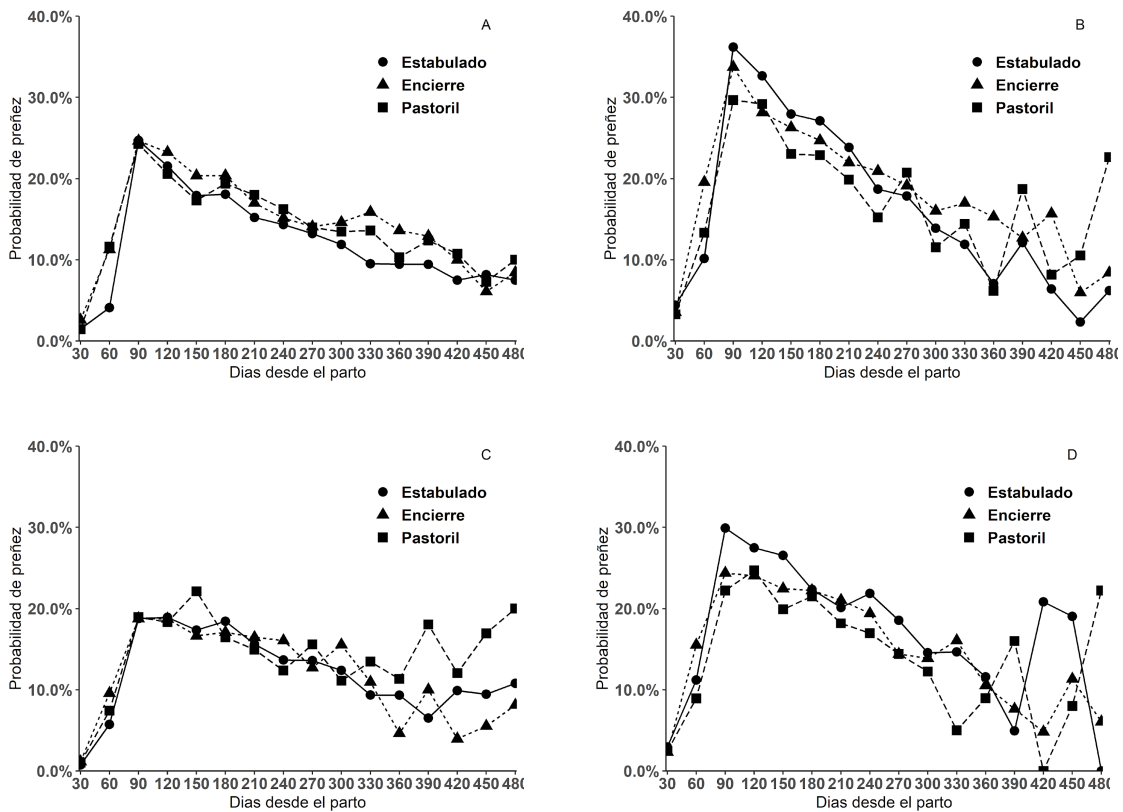


Figura 4.1. Riesgo de preñez para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril).

Probabilidad de aborto

En la Figura 4.2 se presentan las probabilidades o riesgos de aborto (en porcentaje) para las primeras y terceras lactancias para los tres tipos de sistemas productivos (ver en el Anexo 2, Tablas 10 y 11, todas las lactancias). En todas las lactancias y sistemas productivos, se observó dos picos de máximo riesgo de producirse un aborto, el primero se presenta alrededor de los 3 meses de gestación y el segundo, entre el séptimo y octavo mes de gestación. Peter (2000) observó que el mayor riesgo de aborto se daba entre los días 95

y 105 de gestación. Según de Vries (2006), el porcentaje de aborto del segundo mes de gestación al octavo es de 3,5, 2,5, 1,5, 0,5, 0,25, 0,1 y 0,1%, respectivamente, sumando en total de 8,45% de aborto. En nuestros datos, se puede apreciar que para lactancias CES en comparación con aquellas SES se distinguen respecto al porcentaje de aborto, teniendo un comportamiento similar entre los diferentes sistemas productivos. El riesgo de aborto entre el segundo y el octavo mes de gestación fue en promedio de 7,38% para lactancias SES mientras que este valor ascendió, en promedio, a 15,45% para aquellas lactancias que presentaron al menos un evento sanitario. Además, la probabilidad acumulada de aborto de las vacas de primera lactancia fue de 25,2% para sistema del tipo estabulado, mientras que para sistemas de tipo encierre y pastoril fue de 20,5% para lactancias CES. Por otra parte, para lactancias SES, la probabilidad acumulada de abortos para animales de primera lactancia fue de 12,7% para sistema del tipo estabulado, 8,7 % para animales bajo sistemas de encierre permanente y de 11,7% para sistemas de tipo pastoril analizando lactancias SES. Para vacas de tercera lactancia la probabilidad de aborto acumulada para lactancias CES fue de 22,5, 20,6 y 14,08% para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril respectivamente. Estas probabilidades para las lactancias SES fue de 11,6, 10,3 y 10,5% para animales bajo sistemas de tipo estabulado, encierre y pastoril respectivamente. Las probabilidades acumuladas en nuestro trabajo resultaron mayores a las reportadas por de Vries (2006).

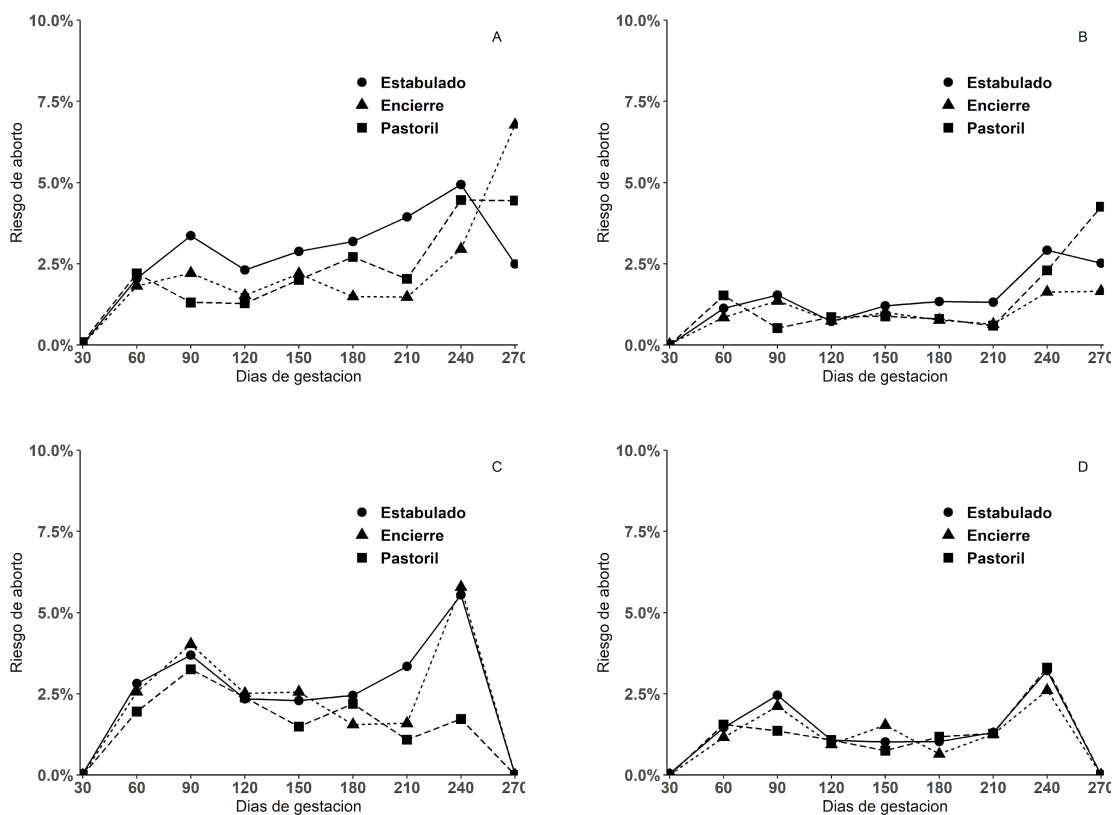


Figura 4.2. Probabilidad de aborto para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril).

Probabilidad de descarte

En la Figura 4.3 se presentan las probabilidades o riesgos de descarte (en porcentaje) de la primera y tercera lactancia para los 3 sistemas productivos (ver en el Anexo 2, Tablas 15 a 20, el resto de las lactancias). En todas las lactancias y tipos de tambos, se observó que, al inicio de la lactancia, las vacas tienen un alto riesgo de ser descartadas, y luego el riesgo desciende conforme transcurre la lactancia hasta aproximadamente el día 50 posterior al parto. Luego, este riesgo se mantiene constante un determinado tiempo, dependiendo del número de lactancia, para nuevamente volver a elevarse llegando al pico de riesgo de descarte. De esta manera, el riesgo de descarte asociado a los primeros días en lactancia es del orden del 2 al 5%, luego se mantiene

constante en todos los sistemas productivos en un 1% hasta el día 240 en la primera lactancia, 180 en la segunda y tercera lactancia, 120 en la cuarta lactancia y 90 en la quinta lactancia. Luego, a mayores días en producción, el riesgo aumenta; así, entre los días 330 y 360 de lactancia, en la primera lactancia, el riesgo de descarte llega a valores de aproximadamente del 3%, en la cuarta lactancia al orden del 5% y en la quinta lactancia al 9%. Estos valores continúan aumentando considerablemente conforme avanzan los días en lactancia, como se puede apreciar en la Figura 4.3. En el análisis del riesgo de descarte, independientemente del sistema productivo, lactancias con al menos un evento sanitario tuvieron en promedio mayor riesgo de ser rechazadas en comparación con aquellas lactancias que no tuvieron eventos sanitarios. Este comportamiento se observa desde la primera a la cuarta lactancia incluida. Sin embargo, el riesgo de rechazo se invirtió en la última lactancia analizada (quita lactancia). Numerosos autores han observado el mismo patrón de descarte dentro de una lactancia (Godden et al., 2003; Dechow y Goodling, 2008; de Vries, van Leeuwen, et al., 2010). A su vez, existen trabajos que sugieren que, a mayor número de lactancia, mayor es el riesgo que tiene el animal de ser descartado (Hadley et al., 2006; Hare et al., 2006). Por otra parte, (de Vries, van Leeuwen, et al., 2010) han estudiado el estado reproductivo como factor de descarte, mostrando que las vacas vacías tienen mayor riesgo de ser descartadas respecto a las preñadas. También se estudió cómo afectaba al riesgo de descarte la dificultad en el parto, la longitud del IPC y del IP1servicio (Sewalem et al., 2008). Brannen et al. (1977), vieron que el patrón de descarte cambia cuando se mejora el desempeño reproductivo de un grupo de vacas en lactancia mediante la sincronización de sus ciclos estrales.

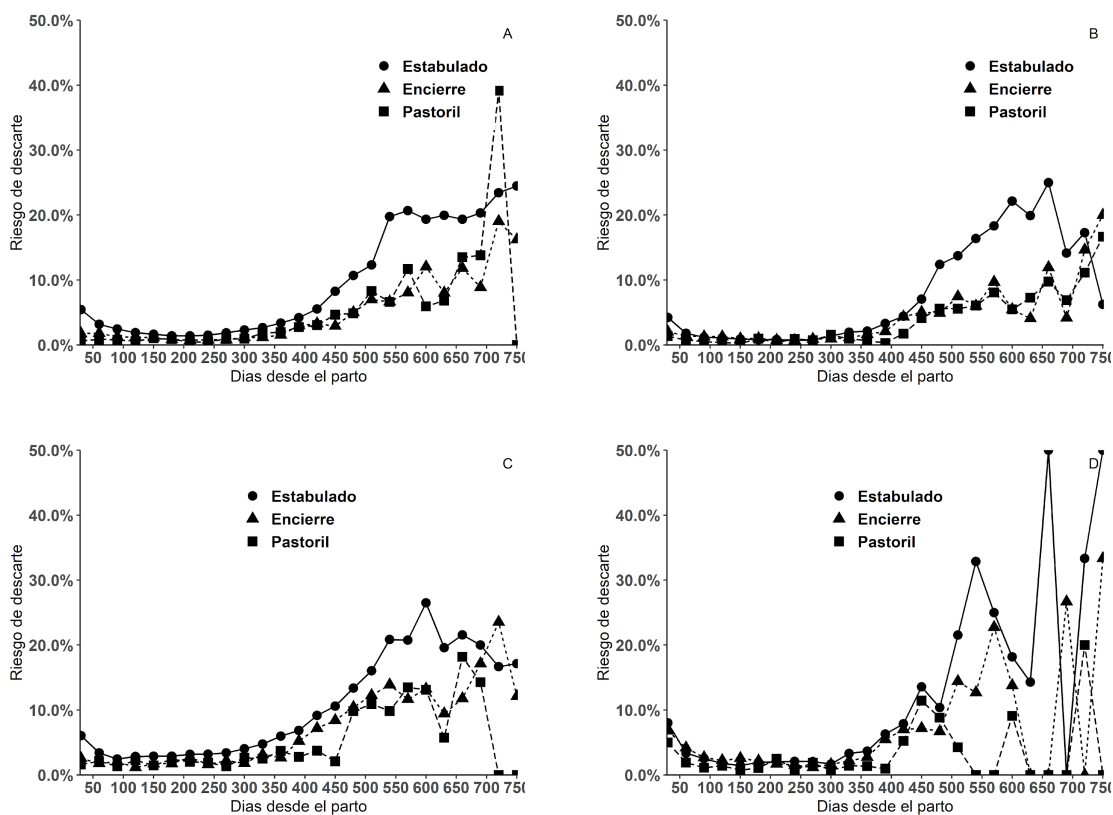


Figura 4.3. Riesgo de descarte para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Estabulado, Encierre y Pastoril).

Indicadores productivos

Analizando cada número de lactancia, las curvas ajustadas para cada sistema productivo tuvieron comportamientos similares entre aquellos animales con al menos un evento y sin eventos sanitarios. Sin embargo, los parámetros estimados fueron diferentes, razón por la cual las pendientes de las curvas para cada momento de la lactancia fueron diferentes (ver en el Anexo 2, Tablas 22 y 23 con los parámetros). Las curvas de lactancia ajustadas están graficadas en la Figura 4.4.

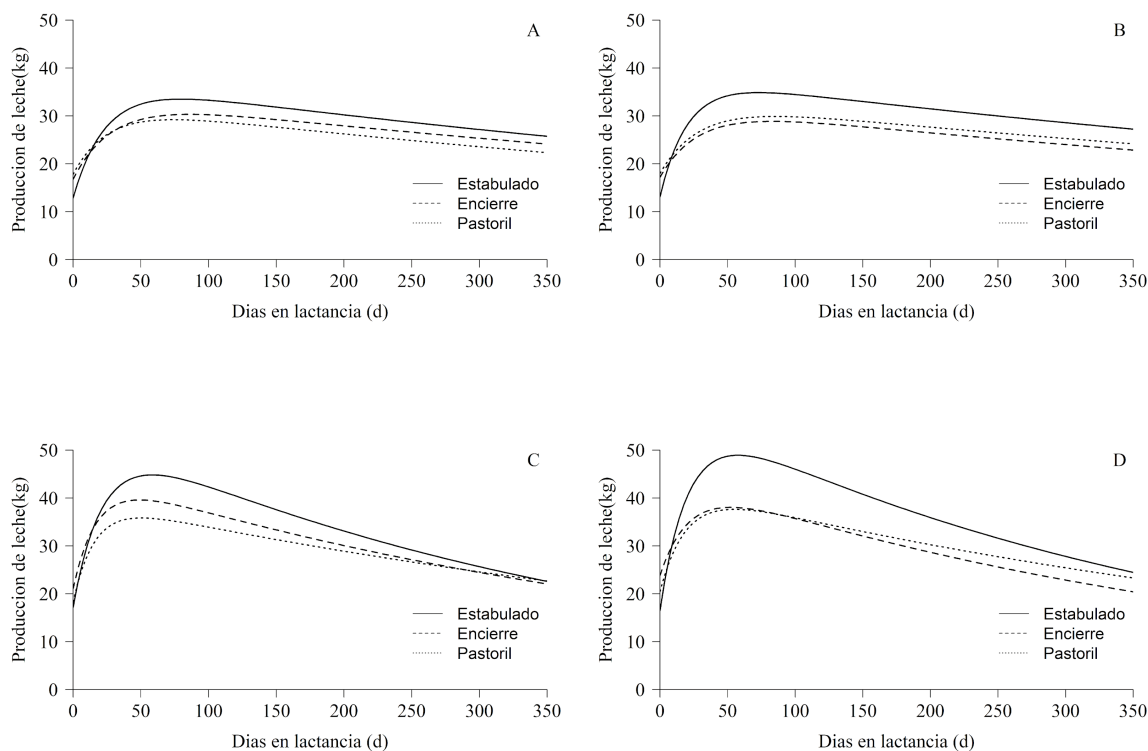


Figura 4.4. Curvas de lactancia ajustadas para la primera lactancia con al menos un (A), sin evento sanitario (B) y tercera lactancia con al menos un (C) y sin evento sanitario (D) categorizado por los sistemas productivos (Establado, Encierre y Pastoril).

En la primera lactancia, para todos los sistemas productivos y para ambos grupos sanitarios (con al menos un y sin eventos sanitarios), como se menciona en la literatura, el pico de producción y la producidos a lo largo de la lactancia fueron menores con respecto a las lactancias superiores (Rekik et al., 2003; Macciotta et al., 2004; Silvestre et al., 2009; Cole et al., 2011). Otro aspecto relevante es el comportamiento de la curva en los días posteriores al pico de producción, conocido como persistencia de la lactancia. La tasa a la cual disminuye la síntesis de leche conforme avanza el tiempo es menor para animales que se encuentran en su primera lactancia en comparación con animales con tres o más partos. Este comportamiento coincide con lo descrito por otros autores (Piccardi et al., 2017).

Costos de tratamientos

El perfil que describe las afecciones sanitarias en las lactancias para el sistema de tipo estabulado está compuesto por 1 caso de mastitis, 1 caso de enfermedad reproductiva y 1 caso de enfermedad metabólica. Para los sistemas de encierre y pastoril se compuso por 2 casos de mastitis y 1 caso de enfermedades reproductivas.

Por otra parte, de la encuesta online se obtuvo un total de 27 respuestas. Teniendo en cuenta la caracterización de las afecciones y los costos inferidos a través del análisis de las respuestas del formulario se estimó un costo de tratamientos de 143, 153 y 151 dólares por vaca por año para los sistemas estabulados, encierre y pastoril respectivamente. En cuanto a la variable tiempo, para los casos de mastitis se determinó 5 días de retiro en leche. La mediana del tiempo de diagnóstico de los eventos no supero en ningún caso los 60 minutos (mínima fracción de tiempo para estimar costos).

Modelo bioeconómico

Los resultados obtenidos a partir del modelo bioeconómico tanto para cada sistema productivo como para el análisis dentro de cada sistema para lactancias CES y SES se encuentran en las Tablas 4.3 y 4.4 respectivamente. El costo reproductivo que posee una vaca por año es mayor en los sistemas de tipo estabulado (-11,19 U\$D), siguiéndolo el encierre permanente (-7,94 U\$D) y por último el pastoril (-6,18 U\$D). El tipo de sistema de producción pastoril genera un mayor ingreso total final por vaca por año (U\$D 1.333,84), ya que tanto los costos de reemplazo y mortandad como reproductivos son los

más bajos. Además, el retorno que obtiene por parte de la venta de los terneros y terneras y por la producción de leche descontando el costo de la alimentación son de los más altos.

Tabla 4.3. Costos e ingresos por vaca por año (\$/vaca/año) para cada sistema productivo.

Sistema Productivo	Total de costos e ingresos				
	ISCA ¹	Descarte	Reproducción	Terneros	Ingreso Neto
Estabulado	1.527,51	-332,67	-11,19	46,75	1.230,40
Encierre	1.350,99	-216,44	-7,94	53,11	1.179,72
Pastoril	1.485,59	-197,64	-6,18	52,07	1.333,84

¹Ingresos sobre costo de alimentación.

Cuando se comparan los sistemas productivos analizados agregando el efecto de las afecciones sanitarias los resultados tienen algunos cambios. Teniendo en cuenta únicamente aquellos animales que presentaron al menos un evento sanitario a lo largo de su lactancia, el sistema de tipo pastoril sigue arrojando los mayores ingresos anuales netos (USD 1.335,6) seguido por el encierre permanente (1.248,58 USD) y en último lugar se ubican el sistema de tipo estabulado (1.165,44 USD). Esto se explica porque a pesar de no tener el mayor ingreso por producción de leche descontando los costos de alimentación, es el sistema que menor gasto en descarte y reproducción tiene y además el de mayores ingresos por venta de terneros y terneras. Por otra parte, cuando comparamos solamente animales que no presentaron eventos sanitarios a lo largo de su lactancia, el tipo de sistemas que resultó tener el mayor ingreso neto fue el estabulado (1.363,33 USD) seguido por el de tipo pastoril (1.302,18 USD) y por último se ubicó el encierre permanente (1.105,16 USD). Esto está explicado exclusivamente por el aumento en sus ingresos por producción de leche (libre de los costos de alimentación) ya que tanto para los costos de descarte y producción y los ingresos por ventas de terneros y terneras fue el de peor

desempeño. Razón por la cual, esto fue compensado con creces por la mayor productividad.

Tabla 4.4. Costos e ingresos por vaca por año (\$/vaca/año) para cada sistema productivo contemplando lactancias que presentaron al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES).

Sistema Productivo	Condición Sanitaria	Total de costos e ingresos				
		ISCA ¹	Descarte	Reproducción	Terneros	Ingreso Neto
Estabulado	CES	1.492,46	-356,91	-11,98	41,87	1.165,44
	SES	1.643,22	-226,99	-9,56	57,18	1.463,85
Encierre	CES	1.400,78	-192,06	-8,53	48,40	1.245,58
	SES	1.298,48	-197,20	-7,35	58,32	1.152,26
Pastoril	CES	1.464,75	-172,01	-6,45	49,32	1.335,60
	SES	1.520,58	-201,83	-5,76	56,16	1.369,15

¹Ingresos sobre costo de alimentación.

No se encontraron diferencias significativas en el ingreso neto anual para los distintos sistemas productivos. Sin embargo, para todos los tambos, independientemente del sistema productivo, aquellas lactancias que no presentaron eventos sanitarios tuvieron un 22% más de retorno neto anual en comparación con aquellos animales que presentaron al menos un evento sanitario a lo largo de su lactancia. Esta diferencia fue estadísticamente significativa (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Comparación de medias entre lactancias con evento sanitario (CES) y sin eventos sanitarios (SES).

Condición Sanitaria	Medias	E.E.	
SES	1.234,05	91,75	a

CES	1.009,43	91,75	b
-----	----------	-------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Evaluación económica

Para los sistemas estabulados, la mediana de la proporción de lactancias con al menos un evento sanitario fue de 69%. Estos valores para los sistemas de encierre y pastoril fueron de 44 y 51%, respectivamente. El ingreso neto por vaca por año (costo de tratamiento deducido) es presentado en la Tabla 4.6 para la mediana y los percentiles 25 y 75 para sistema productivo analizado.

Tabla 4.6. Retorno neto por vaca por año para diferente porcentaje de lactancias con al menos un evento sanitario para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril.

Sistema	Percentil	% Lact CES	Retorno Neto
Estabulado	75	85	858,89
	50	69	1.022,50
	25	62	1.094,07
Encierre	75	64	876,10
	50	44	1.095,13
	25	29	1.259,40
Pastoril	75	64	1.030,38
	50	51	1.187,34
	25	42	1.290,93

En cada sistema productivo, si se comparan los percentiles 75 y 25 con respecto a la mediana (percentil 50) de la distribución de la proporción de lactancias que presentaron al menos un evento clínico, los tambos que padecen la mayor cantidad de afecciones sanitarias (percentil 75) dejan de ganar 163,60, 219,03 y 153,96 dólares por vaca por año para los sistemas estabulado, encierre y pastoril, respectivamente. Por otra parte, dentro de

los sistemas estabulados cuyos tambos tienen animales que sufrieron menos casos clínicos (percentil 25) en comparación con la mediana de los tambos, tuvieron una ganancia extra de 71,57 dólares por vaca por año. Este valor ascendió a 164,27 y 106,59 para los sistemas de encierre y pastoril respectivamente.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la importancia del desarrollo analítico e implementación de un conjunto de técnicas estadísticas para los diferentes indicadores productivos y reproductivos combinados en un modelo bioeconómico. Además, integra una serie de métodos estadísticos y modelos adecuados para estimaciones con eventos de tiempo y datos longitudinales. Los resultados demuestran que la conversión de información proveniente de los indicadores de eficiencia productiva y reproductiva en valores económicos pueden ser utilizados en la toma de decisiones en los rodeos lecheros. De esta forma, en comparación con la mediana de los tambos, aquellos establecimientos que tuvieron lactancias con menos afecciones sanitarias (pertenecientes al percentil 25) presentaron una ganancia extra por vaca por año que ascendió a 71,57 dólares para los sistemas estabulados, 164,27 para los de encierre permanente y 106,59 para los sistemas pastoriles. Estos resultados demuestran la importancia de una gestión que invierta en la prevención de enfermedades y detección oportuna ya que resultará en una mejora en los índices productivos y reproductivos, aumentando los ingresos.

CAPÍTULO 5

METRICAS PRODUCTIVAS EN SISTEMAS DE ORDEÑO AUTOMÁTICO

INTRODUCCIÓN

Desde su introducción por primera vez a principios de la década de 1990, la adopción en la producción lechera de los sistemas de ordeño automático (AMS por sus siglas en inglés) se ha incrementado (de Koning, 2010; Barkema et al., 2015). Los sistemas de tipo AMS ofrecen la oportunidad de reducir la mano de obra en los establecimientos dedicados a la producción lechera, aumentar la producción diaria de leche, entendida como

la producción de leche acumulada en los eventos de ordeño individuales correspondientes a un período de 24 horas (expresado en kilogramos de leche por vaca). Además, pueden realizar aportes significantes para mejorar el estilo de vida de los productores (de Koning, 2011; Rodenburg, 2017). La asistencia voluntaria y distribuida a lo largo del día de las vacas a la unidad de ordeño durante la lactancia es uno de los componentes en los que se basa la mayor eficiencia de los AMS. Por otro lado, esta asistencia voluntaria genera variación en el intervalo de ordeño (IO), definido como el período de tiempo que transcurre entre dos eventos consecutivos de ordeño para cada vaca expresado en horas. Esta variabilidad en los intervalos de ordeños, tanto dentro como entre vacas, es lógicamente mayor para animales que se encuentran en sistemas de tipo AMS en comparación con aquellos rodeos manejados en los denominados sistemas de ordeño convencionales (CMS por sus siglas en inglés), donde el IO es fijo y permanece relativamente constante.

Entre los factores que afectan la variación en el IO, sin dudas el manejo del rodeo tiene un impacto importante, pero también puede existir un componente de variación que este determinado por el efecto particular de cada vaca individual (Løvendahl y Chagunda, 2011). En sistemas de tipo pastoril que tienen tecnología de ordeño de tipo AMS, los intervalos entre ordeños superiores a 16 horas se han relacionado con efectos negativos en la producción de leche (Lyons, Kerrisk, Dhand, et al., 2013) y en la salud de la ubre (Hammer et al., 2012). Por esta razón, lograr un IO óptimo para cada vaca garantizará que la secreción de leche no se vea afectada, maximizando de esta forma la producción individual y minimizando cualquier riesgo de efectos negativos en la salud de la ubre (André et al., 2010). Dado que las vacas que son manejadas en AMS almacenan diferentes cantidades de leche en la ubre, dependiendo del IO, aquellas con una producción de leche (PL) relativamente alta y un IO relativamente largo podrían considerarse como animales más "eficientes" (Molfino, 2018). Una mayor proporción de estos animales dentro de un rodeo puede permitir un aumento en los volúmenes de leche obtenidos por cada robot a través de un mayor número de vacas ordeñadas por robot.

La cantidad de producto, en este caso leche, obtenida por cada uno de los robots es un indicador de eficiencia (también conocido como MHR por sus siglas en inglés) y está

definido como los kilogramos de leche que es ordeñada en cada robot por día. Maximizar esta cantidad, que a su vez está en función del número de ordeños diarios y la cantidad de leche recolectada en cada visita de ordeño, es fundamental para maximizar los ingresos de los establecimientos lecheros (Sonck y Donkers, 1995; Hyde y Engel, 2002; Salfer et al., 2017). En un estudio en el que se monitorearon en forma mensual varios tambos comerciales de tipo pastoriles que contaban con tecnología de AMS en Australia durante todo un año, Lyons y Kerrisk (2017) concluyeron que los establecimientos con AMS, de base pastoril, en promedio podían incrementar la cantidad de leche ordeñada por cada robot hasta en un 60%. Por esta razón, la identificación de grupos de vacas que toleran IO extendidos sin que se vea afectada su alta producción diaria podría ser una oportunidad para aumentar la MHR.

La producción de leche se puede describirse mediante el modelado de curvas de lactancia (Ehrlich, 2011), donde la adición de efectos aleatorios, atribuidos al individuo, a estos modelos proporciona una medida de variabilidad entre las vacas (Piccardi et al., 2017). Se han utilizado curvas de lactancia modeladas para calcular la producción de leche a nivel de vaca individual utilizando como parámetros estimados el pico de producción de leche, los días hasta el pico y la producción de leche acumulada a los 305 días en lactancia (Bouallegue et al., 2015). Hasta la fecha, la mayoría de los modelos estadísticos propuestos han ajustado curvas de lactancia para vacas bajo sistemas de ordeño convencionales (Piccardi et al., 2017; Kong et al., 2018) mientras que el desarrollo de estas predicciones para AMS es escaso. Por lo tanto, se hipotetiza que la variabilidad entre vacas en los parámetros de la curva de lactancia puede usarse para identificar y monitorear un nuevo fenotipo de animales específico para sistemas de ordeño de tipo AMS, descrito por primera vez por Molfino (2018), como la combinación de animales con producciones diarias de leche relativamente altas y con intervalos entre ordeños relativamente largos.

Los objetivos del presente estudio fueron 1) estimar los parámetros de la curva de lactancia para vacas ordeñadas en sistemas de ordeños automáticos y 2) evaluar el potencial uso de estos parámetros para describir vacas individuales con producciones

diarias de leche e intervalo entre ordeños contrastantes como un medio para identificar vacas que son más “eficientes” en sistemas AMS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos

En este estudio se utilizó una base de datos que contiene información de 4 tambos comerciales con tecnología AMS de tipo pastoril, 2 de ellos se encuentran en Australia, 1 en Nueva Zelanda y 1 en Chile. Los establecimientos productivos cubrieron diferentes regiones lecheras, distribución de partos en el año, razas y tamaños de rodeo (Tabla 5.1).

La base de datos utilizada contiene 773.483 registros de ordeños individuales almacenados durante un año (Julio de 2016 - Junio de 2017), de los tambos mencionados anteriormente, como parte de un estudio que estimó indicadores claves de desempeño relacionados con la utilización de AMS en tambos comerciales (para obtener mayores detalles, se puede consultar Lyons y Kerrisk, 2017). Para este estudio, la base de datos utilizada comprendió un total de 790 lactancias, todas con más de 100 días en leche (DEL). Cada uno de los registros incluía fecha, número de tambo, identificación de la vaca y número de lactancia, así como los DEL, el IO y la producción de leche. La PL se calculó como la suma de la producción de leche dentro de un período de 24 horas (00:00 a 23:59 h).

Table 5.1. Tambos comerciales con tecnología AMS utilizados en este estudio.

Tambo	País	Sistema de partos	Raza
1	Australia	Divididas ¹	Holstein y cruza ²
2	Australia	Continuas	Holstein y cruza
3	Nueva Zelanda	Divididas	Holstein y cruza
4	Chile	Divididas	Jersey

¹Partos concentrados en primavera; ²Predominantemente cruce de Holstein x Jersey.

Análisis estadístico

A través de 3 funciones no lineales se ajustaron curvas de producción para cada lactancia de cada vaca dentro de cada tambo. Los modelos utilizados fueron la función gamma incompleta (Wood, 1967), el modelo MilkBot (Ehrlich, 2011) y el modelo difásico (Grossman y Koops, 1988). Para todas las funciones ajustadas se obtuvo como variable resultado la PL. En la parte fija del modelo, PL se explicó en función de DEL. Dado que se esperaba que las observaciones se auto-correlacionaran temporalmente dentro de la lactancia, se agregó un efecto de aleatorio, correspondiente a la vaca, a un parámetro de curva de lactancia en el modelo. Para realizar el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento PROC NLMIXED en SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2011) con el enfoque de probabilidad directa como método estimado. Las lactancias se analizaron por separado para el número de partos, es decir como primíparas o multíparas, donde se descartaron las segundas lactancias dado que mostraron un comportamiento intermedio, como sugirieron Dematawewa et al. (2007). Para la selección del modelo, se utilizó el Criterio de información de Akaike (AIC; Sakamoto et al., 1986) y el Criterio de información Bayesiano (BIC; Schwarz, 1978). Los parámetros de lactancia identificados como producción en el pico de lactancia (Ppico), días hasta el pico (Dpico) y producción de leche acumulada en los 305 días de lactancia (305PL) fueron obtenidos posteriormente para cada vaca (lactancia).

Se seleccionó como el mejor ajuste a la función gamma incompleta, modelo de Wood mixto, representado por la siguiente ecuación [5.1]:

$$Y(t) = (a + u)^b \exp^{-ct} \quad [5.1]$$

donde $Y(t)$ es la producción de leche el día t de lactancia, a es el parámetro que representa la producción al inicio de la lactancia y u es el efecto aleatorio; los parámetros b y c están asociados con el aumento y la disminución de las pendientes de la curva de lactancia, respectivamente.

El parámetro 305PL se definió como la producción de leche acumulada desde el día 1 hasta el día 305 de la lactancia y se calculó utilizando la integral de las curvas de lactancia ajustadas [5.2].

$$305PL = \int_0^{305} (a + u)^b \exp^{-ct} dY \quad [5.2]$$

Se asumió que el componente aleatorio agregado a la intersección tenía una distribución normal con media cero y varianza σ_a^2 , lo que debe interpretarse como una variable no observable que representa una desviación aleatoria del coeficiente a de la i -ésima lactancia del parámetro de población. Se supone que dicha desviación aleatoria es independiente del término de error. Así, se obtuvo la mejor predicción lineal insesgada (BLUP) (Davidian y Giltinan, 2003) para identificar animales con una PL alta, media o baja (según pertenezcan al tercil superior, medio o inferior de la distribución de la PL, respectivamente).

La mediana del IO para los animales se obtuvo dentro de cada lactancia en un tambo determinado y se utilizó para identificar animales con IO relativamente largo, mediano y corto (según se encuentren en el tercil superior, medio o inferior de la distribución de IO, respectivamente).

Finalmente se ajustó un modelo de ANAVA para cada parámetro de la curva de lactancia para evaluar el impacto de la categoría PL contrastante (alta versus baja), la

categoría IO y su interacción, tratando a las vacas multíparas y primíparas por separado. La categoría de baja PL con corto IO se estableció como grupo de referencia para las comparaciones.

RESULTADOS

Intervalos entre ordeños y producción diaria de leche

El análisis de los datos de los 4 tambos estableció que vacas multíparas en los terciles de baja y alta PL tenían IO de 10 y 14 horas, y valores de PL de 20,1 y 27,2 kg de leche por día, respectivamente. De manera similar, vacas primíparas en los terciles de baja y alta PL tuvieron IO de 11 y 14 horas, y valores de PL de 15,1 y 20,7 kg de leche por día, respectivamente (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Promedio, error estándar y lactancias analizadas para el tercil superior e inferior de la producción diaria de leche (PL) y de intervalo de ordeño (IO) según categoría animal y tambo.

Categoría	Tambo	Corto IO ¹ [h]	Largo IO ² [h]	Baja PL ³ [kg]	Alta PL ⁴ [kg]	Lactancias
Primíparas	1	10±0,24	12±0,26	22,2±0,27	28,9±0,26	138
	2	11±0,24	14±0,30	15,6±0,29	20,8±0,35	90
	3	12±0,18	14±0,19	13,0±0,27	19,4±0,35	27
	4	11±0,22	14±0,34	9,8±0,20	14,0±0,27	59
Promedio		11±0,23	14±0,30	15,1±0,25	20,7±0,31	79
Multíparas	1	10±0,22	15±0,26	28,4±0,50	36,8±0,59	239
	2	11±0,22	15±0,28	18,1±0,36	24,4±0,47	141
	3	9±0,21	12±0,20	18,8±0,45	25,8±0,49	42
	4	10±0,22	12±0,23	15,4±0,35	21,8±0,44	54
Promedio		10±0,22	14±0,26	20,1±0,43	27,2±0,53	119

¹Tercil inferior de IO; ²Tercil superior de PL; ³Tercil inferior de PL; ⁴Tercil superior de PL.

Caracterización de las curvas de lactancia estimadas

El modelo de Wood ajustó las curvas de lactancia individual mejor que los otros dos modelos (AIC menores en más del 70% de los ajustes, Tabla 5.3). Las estimaciones promedio de los parámetros del modelo de Wood para vacas primíparas y multíparas se muestran en la Tabla 5.4. Además, las estimaciones de los parámetros del modelo Wood para las curvas de lactancia de primíparas y multíparas dentro de cada tambo se muestran en la Tabla 5.5. El valor del parámetro a del modelo, que describe la producción de leche al inicio de la lactancia, fue menor para primíparas que para multíparas en todos los rodeos. Hubo diferencias entre primíparas y multíparas para el parámetro b del modelo que afecta la pendiente de la curva desde el inicio de la lactancia hasta que alcanza su pico. La disminución en la producción después del pico, expresada por el parámetro c del modelo, fue mayor para las multíparas que para las primíparas (Tabla 5.4). En promedio, la Ppico para vacas multíparas fue 15,5 kg/d más alto que para vacas primíparas y ocurrió casi 10

días antes. Además, el parámetro 305PL para primíparas fue en promedio el 59% del de vacas multíparas.

Table 5.3. Criterios de ajuste para tres modelos de curvas de lactancia (Wood, MilkBot y el modelo Difásico) como modelo mixto con efecto aleatorio “vaca” asociado al parámetro relacionado con la magnitud de la producción de leche (parámetro a).

Modelo						
	Wood		MilkBot		Difásico	
	AIC ¹	BIC ²	AIC	BIC	AIC	BIC
Tambo 1	656.540	656.576	659.077	659.116	727.185	727.252
Tambo 2	310.196	310.231	310.261	310.292	315.145	315.172
Tambo 3	118.537	118.557	118.973	118.995	120.020	120.038
Tambo 4	165.640	165.667	165.990	166.015	193.300	193.358

¹Criterio de información de Akaike; ²Criterio de información Bayesiano. Menores implica mejor.

Table 5.4. Estimaciones de los parámetros del modelo de Wood (promedio ± EE) para primíparas y multíparas para todos los rodeos.

Paridad	a	b	c	Ppico ¹ [kg/d]	Dpico ² [d]	305PL ³ [kg]
Primíparas	10,27±0,58	0,23±0,01	0,0044±0,0002	19,3±1	53±2	4.590±194
Multíparas	18,56±0,43	0,24±0,01	0,0053±0,0001	34,8±1	44±1	7.752±158

¹Producción en el pico; ²Días al pico; ³Producción de leche acumulada a los 305 días en lactancia.

Table 5.5. Estimaciones de parámetros del modelo Wood para primíparas y multíparas.

Tambo	Categoría	a	b	c	Ppico ¹ [kg/d]	Dpico ² [d]	305PL ³ [kg]
1	Primípara	10,19±1,33	0,29±0,04	0,0041±0,0004	24,4±1,1	71,7±4,9	6.183±373
	Multípara	18,35±0,48	0,27±0,01	0,0051±0,0001	38,8±0,6	52,2±0,9	8.929±132
2	Primípara	12,79±0,69	0,18±0,01	0,0044±0,0003	20,8±0,9	43,0±2,2	4.833±227
	Multípara	14,76±0,59	0,22±0,01	0,0055±0,0002	25,6±0,7	39,8±1,5	5.508±144
3	Primípara	11,07±1,65	0,23±0,03	0,0055±0,0004	20,1±1,9	42,0±4,0	4.372±400
	Multípara	21,15±1,00	0,14±0,01	0,0044±0,0002	29,7±0,6	32,0±2,4	6.549±139
4	Primípara	6,68±0,74	0,25±0,03	0,0041±0,0003	13,6±1,1	59,5±4,5	3.346±265
	Multípara	15,32±0,92	0,20±0,01	0,0056±0,0003	24,5±1,0	36,6±2,5	5.081±208

Producción al pico, días al pico y producción acumulada a los 305 días en lactancia

En promedio, vacas primíparas con baja PL tuvieron una Ppico más baja que las primíparas con alta PL ($p < 0,05$). Además, la comparación de los grupos de IO contrastantes solo mostró un impacto significativo en Ppico dentro de las primíparas con alta PL. Para vacas primíparas, la mayor diferencia (8,1 kg de leche / día) fue entre el grupo de alta PL con IO corto y el grupo de referencia (animales con baja PL e IO corto) (Tabla 5.6).

Las vacas multíparas pertenecientes al grupo de baja PL tuvieron una Ppico más baja que el grupo con alta PL ($p < 0,05$). Además, los grupos de IO contrastantes dentro del grupo PL no tuvieron ningún impacto en Ppico.

Ninguna de las variables en estudio, PL e IO, dentro del número de lactancias de las vacas analizados tuvieron un impacto en Dpico. En promedio, vacas primíparas alcanzaron su pico de producción a los 53 DEL, mientras que vacas multíparas lo alcanzaron a los 40 DEL (Tabla 5.6).

Animales de primera lactancia con alta PL e IO corto o largo produjeron 59% y 45% más de leche que aquellas vacas primíparas con baja PL (Tabla 5.6). Las vacas multíparas con alta PL y corto IO produjeron 38% más leche que el grupo de referencia, mientras que las vacas multíparas con alta PL y largo IO produjeron 35% más leche que el grupo de referencia (Tabla 5.6). No hubo diferencia estadística en 305PL para primíparas y multíparas con baja PL e IO corto o largo ($p < 0,05$).

El agrupamiento de lactancias según PL e IO mostró que 6,72 y 12,37% de todas las lactancias tuvieron alta PL e IO corto para vacas primíparas y multíparas respectivamente, mientras que 6,72 y 8,33% de las lactancias tuvieron alta PL e IO largo (Tabla 5.6). Además, en la Figura 5.1 se muestran las curvas de lactancia estimadas de

primíparas y multíparas dentro de cada grupo según el nivel de producción y la duración del intervalo de ordeño.

Table 5.6. Parámetros estimados para curvas de lactancias según el nivel productivo de la vaca (PL) y el largo del intervalo entre ordeños (IO).

Parámetro	Primíparas				Multíparas	
	PL	IO	Media±E.E. ⁶	Diferencia (%) ⁷	Media±E.E. ⁶	Diferencia (%) ⁷
Ppico ¹	Alta	Corto	24,1±0,5a	50,56	36,6±0,5a	34,87
[kg.d ⁻¹]	Alta	Largo	22,2±0,8b	39,11	35,7±0,7a	31,59
	Baja	Corto	16,0±0,6c	Referencia	27,1±0,5b	Referencia
	Baja	Largo	17,1±0,6c	3,69	26,1±0,5b	-3,98
Dpico ²	Alta	Corto	57,4±3,4a		40,2±1,6a	
	Alta	Largo	47,7±5,2a		41,4±2,3a	
	Baja	Corto	53,4±3,7a		38,4±1,8a	
	Baja	Largo	53,8±3,9a		40,0±1,7a	
305PL ³	Alta	Corto	5,8±0,1a	59,2	8,0±0,9a	38,5
	Alta	Largo	5,3±0,2b	45,3	7,9±0,1b	35,3
	Baja	Corto	3,7±0,1c	Referencia	5,8±0,1c	Referencia
	Baja	Largo	3,9±0,1c	5,5	5,8±0,9c	-1,0
c ⁴	Alta	Corto	0,004±0,0003		0,005±0,0002	
			a		a	
	Alta	Largo	0,004±0,0004		0,005±0,0003	
		a		a		
	Baja	Corto	0,005±0,0004		0,006±0,0002	
			a		a	

	Baja	Largo	0,005±0,0004	0,005±0,0002
			a	a
Lactancias ⁵	Alta	Corto	12,37	19,62
[%]	Alta	Largo	6,72	8,33
	Baja	Corto	9,41	14,52
	Baja	Largo	12,63	16,40

¹Producción en el pico; ²Días al pico; ³Producción de leche acumulada a los 305 días en lactancia; ⁴Parámetro c.

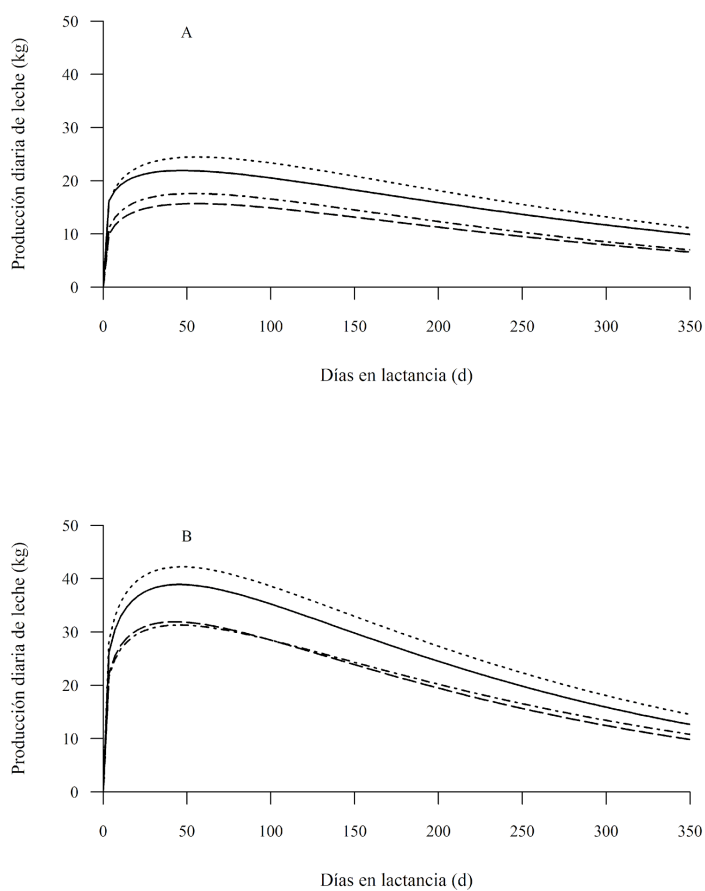


Figure 5.1. Curvas de lactancia estimadas según nivel de producción (producción diaria de leche, PL) y duración del intervalo entre ordeños (IO) para vacas primíparas (A) y

múltiparas (B). Línea de puntos = alta PL y corto IO; línea sólida = alta PL y largo IO; línea discontinua = baja PL y corto IO; línea punteada = baja PL y largo IO.

DISCUSIÓN

Un objetivo clave de este trabajo fue estimar los parámetros de la curva de lactancia para vacas ordeñadas bajo AMS en sistemas pastoriles, ya que estos parámetros fueron estimados principalmente para vacas en CMS. Como validación de nuestro enfoque, determinamos valores para P_{pico} y D_{pico} que eran similares a los reportados previamente por otros (Cole et al., 2011; Piccardi et al., 2017). Las diferencias en los valores de los parámetros para múltiparas y primíparas también se repitieron, en general, entre los tambos AMS en comparación con los valores publicados. El estudio actual se realizó en animales cuya raza era principalmente Holstein, Jersey y cruza (predominantemente Holstein x Jersey). Aunque el objetivo de este estudio no era observar el efecto de la raza en la variación del IO, investigaciones previas han encontrado que la raza puede tener un impacto en el movimiento voluntario de las vacas (Clark et al., 2014).

Comprender la dinámica de la curva de lactancia de las vacas, tanto de manera individual como a nivel poblacional, proporciona algunos de los principios claves para la toma de decisiones en los establecimientos lecheros comerciales (Macciotta et al., 2005). Además, es posible hacer inferencias sobre el manejo y la fisiología utilizando valores derivados de un modelo que luego puede usarse para monitorear el desempeño del rodeo (Ehrlich, 2013). Los parámetros de las curvas mostraron que la producción de leche de vacas primíparas en el pico de lactancia representó el 55,5% de la producción de vacas múltiparas. Este valor es menor al 75% (Bailey y Currin, 2009) recomendado como estándar en los sistemas de producción lechera. Por su parte, este valor hallado es similar al que fue reportado por Siewert et al. (2019).

La razón exacta detrás del bajo rendimiento de vacas primíparas no se puede determinar a partir de este estudio. Publicaciones anteriores han demostrado un escaso entrenamiento de primíparas para utilizar el AMS antes de ser ordeñadas con el robot por

primera vez (Tse et al., 2018). Además, vacas primíparas visitan el AMS con menor frecuencia que vacas múltiparas al inicio de la lactancia (Siewert et al., 2019). Es necesario realizar futuras investigaciones para conocer la dinámica de la frecuencia de ordeño en primíparas, particularmente en la lactancia temprana. La implementación de prácticas como el entrenamiento previo al parto o el manejo de las primíparas por separado durante la primera parte de la lactancia podría aumentar su frecuencia de ordeño y, por lo tanto, la PL en sistemas de tipo AMS.

El número de partos tiene un papel importante en la producción de leche, dado que vacas primíparas tienen un menor desarrollo de sus ubres, con lo cual tienen menos tejido secretor total, en comparación con vacas maduras (Akers, 2017; Connor et al., 2019). Además, vacas primíparas tienen menor tamaño corporal, por lo que consumen menos alimento y parte de su ingesta de nutrientes es particionada a completar su crecimiento (Wathes et al., 2007). Esto trae como consecuencia que la producción de leche se incrementa conforme aumenta el número de lactancia (Vijayakumar et al., 2017).

Los criterios para la selección de animales para producción de leche se han basado tradicionalmente en datos de CMS, donde las vacas tienen un IO relativamente regular. Los genetistas se enfocan predominantemente en la metodología BLUP para seleccionar vacas con alta PL, incluso habiendo observado una sola lactancia. Se ha encontrado que el desempeño de vacas primíparas para varios rasgos, pero no para el IO, es un criterio de selección eficiente bajo CMS (Meyer, 1983). Nixon et al. (2009), calcularon la heredabilidad para la frecuencia de ordeño diaria y producción de leche en sistemas AMS con vacas Holstein primíparas, reportando valores que variaron entre 0,02 y 0,08 y 0,14 y 0,20, respectivamente. La identificación y el reconocimiento de animales eficientes en AMS se beneficiarían con el monitoreo de la PL y también con el IO. Por lo tanto, otro objetivo clave de este estudio fue utilizar el modelado de la curva de lactancia para identificar animales que tienen una alta PL mientras toleran un largo IO y lograr de esta manera aumentar la utilización de la cada uno de los robots AMS. Sólo una proporción relativamente pequeña (6,72 y 8,33% para vacas primíparas y múltiparas, respectivamente) parece tener este fenotipo. Molfino (2018) reportó resultados similares (10,5% de vacas con alta PL e IO largo) usando modelos lineales mixtos para determinar el efecto del

momento de la lactancia y el número de parto y para obtener promedios predichos y residuos para las 2 variables. Se necesitan más investigaciones para cuantificar el componente genético del IO dentro de AMS.

Por otra parte, en comparación con el grupo de referencia, el grupo con alta PL y largo IO produjo un 45% y un 35% más durante toda su lactancia, para vacas primíparas y multíparas respectivamente. Varios factores podrían explicar cómo estos animales mantuvieron una alta PL con un IO más prolongado. A nivel anatómico, animales que tuvieron este comportamiento pueden tener una mayor capacidad para almacenar o drenar la leche secretada de los alvéolos debido a un mayor volumen cisternal dentro de su ubre (Knight y Dewhurst, 1994; Stelwagen y Knight, 1997). De hecho, la capacidad de la ubre para resistir las pérdidas de producción debido al ordeño una vez al día refleja esta capacidad de la leche alveolar para drenar a la cisterna (Davis et al., 1998). El hecho de que exista una base genética para el tamaño de los compartimentos cisternal y alveolar plantea la posibilidad de seleccionar animales para estas características (Davis et al., 1998). Además, los animales con alta PL y largo IO pueden ser menos sensibles a las señales de retroalimentación negativa local en la leche acumulada, incluidas moléculas como la serotonina, o cambios físicos como la distensión alveolar y el estiramiento celular (Weaver y Hernandez, 2016). La base de datos analizada pertenecía a vacas que se encontraban manejadas bajo sistemas de tipo pastoriles y que producían una cantidad relativamente baja de leche. La mayoría de estos sistemas analizados se gestionan bajo un sistema de pastoreo de 3 vías (Lyons, Kerrisk, y Garcia, 2013; Lyons, Kerrisk, Dhand, et al., 2013) y aquellos animales que no abandonaban voluntariamente la asignación de pasto eran arreados de 2 a 3 horas antes de la apertura de una nueva parcela para pastoreo. Los resultados no serían necesariamente aplicables a tambos AMS pero bajo sistemas de tipo confinado, ya que en estos sistemas, las vacas suelen almacenar más leche en sus ubres. Claramente, se requiere realizar más investigación, con mayor cantidad de información, de tal manera de poder analizar la productividad de los animales durante toda su vida para dilucidar esto.

La capacidad de segregar animales con alta PL y largo IO basada en datos de producción modelados presenta una oportunidad única para resolver aún más las bases fenotípicas y genéticas para una mayor tolerancia a IO más prolongado. Este mismo

enfoque podría usarse para identificar tanto vacas primíparas como multíparas que visitan el AMS con más frecuencia en la lactancia temprana, lo que podría conducir a un aumento sostenido de la producción durante toda la lactancia, como se ha publicado para CMS (Wall y Mcfadden, 2012).

La cantidad de vacas ordeñadas por robot por día es uno de los mayores impulsores del rendimiento general del sistema (Castro et al., 2012; Molfino, 2018). Nuestros hallazgos también podrían usarse para mejorar las prácticas de manejo, incluidos los criterios de selección de animales, lo que podría mejorar la viabilidad económica de los AMS. En este sentido, se han hecho enfoques para aumentar la producción diaria de leche ordeñando las vacas existentes con mayor frecuencia (Stockdale, 2006). Sin embargo, esta estrategia puede afectar negativamente la eficiencia general y debe evaluarse a nivel del tambo. Dentro del presente conjunto de datos, si el 11% de las lactancias pertenecientes al grupo de baja PL con un IO corto (grupo de referencia, el de peor desempeño) fueran reemplazadas por animales similares a los del 7% de lactancias en el grupo de alta PL con un IO largo, se podría lograr un aumento teórico del 24% en la producción a nivel de tambo. Esta suposición es similar a los resultados reportados por Molfino (2018) quien, utilizando un enfoque diferente para identificar vacas eficientes (alta PL / largo IO) en AMS, estimó un aumento teórico en la producción de leche de 13 a 24% si todo el rodeo estuviera compuesto. de vacas “eficientes”. Además, nuestros resultados indican que, con la selección o discriminación de animales, según corresponda, el mismo número de vacas podría potencialmente manejarse con menos robots. Considerando que la inversión inicial requerida para instalar AMS tiene un marcado impacto en la rentabilidad (Salfer et al., 2017), dicha estrategia podría volver la inversión más atractiva.

Las vacas en el tercil superior tanto para PL como para IO tuvieron una mayor producción con un menor número de visitas al AMS por día, haciéndolas fácilmente identificables como más eficientes en términos de MHR. Si bien estas vacas produjeron menos leche durante toda la lactancia en comparación con las vacas con alta PL con un IO corto, su número total de visitas al robot por día fue menor. Aunque la IO afecta el tiempo que cada animal pasa en el robot, se espera que la reducción de visitas compense el aumento de tiempo que pasa en la unidad de ordeño en cada visita. En nuestro estudio, las

vacas en los grupos de IO corto y largo tuvieron 10 y 14 horas entre ordeños, respectivamente. En los tambos australianos basados en pasturas que utilizan AMS, la ocupación promedio es de 51 vacas por robot por día (Lyons y Kerrisk, 2017). Si se logaran estas ganancias de eficiencia a nivel de tiempo de ordeño, un IO más largo permitiría que más animales usaran el mismo robot. A pesar de que las vacas con alta PL y largo IO producen menos leche que las de alta PL pero con IO corto, esta pérdida sería compensada por el aumento potencial en el número de animales que podrían ser ordeñados por robot por día. Aunque se ha informado que el IO prolongado, particularmente por encima de las 16 horas, redujo la producción diaria de leche (Lyons, Kerrisk, Dhand, et al., 2013) y aumentó el riesgo de mastitis (Hammer et al., 2012), no se espera que todos los animales se vean afectados de la misma manera porque las respuestas específicas del sujeto están altamente condicionadas a las habilidades individuales. André et al. (2010) informaron una amplia variación entre vacas individuales en el efecto de la duración del intervalo en la producción de leche diaria. Al mejorar el uso de cada AMS y aumentar la MHR, la rentabilidad de los establecimientos lecheros también debería aumentar (Jago y Burke, 2010).

CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha descrito un enfoque de modelado estadístico para identificar y cuantificar con éxito un nuevo fenotipo específico de vacas lactantes con producción de leche relativamente mayor e intervalos entre ordeños relativamente más largo que la vaca promedio para sistemas de ordeño de tipo AMS. Nuestros resultados muestran que ~ 7% de las vacas en los tambos AMS producen más leche con menos ordeños que el promedio. Es necesario futuras investigación para analizar la variabilidad entre vacas en la asistencia voluntaria a las instalaciones de ordeño automático durante la

lactancia temprana, media y tardía, y su correlación con la producción durante toda la lactancia. La identificación de vacas con alta PL y largo IO podría permitir el desarrollo de prácticas de manejo diferenciales para vacas con una que tienen una eficiencia de utilización de los robots contrastante. La selección futura de este nuevo fenotipo específico de AMS podría resultar en un mayor número de animales ordeñados por robot, lo que representa una oportunidad para aumentar la productividad por cada uno de los robots, mejorando la rentabilidad del sistema. Esto podría hacer que la futura adopción de tecnología AMS, principalmente en sistemas de base pastoril, sea más atractiva.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES GENERALES

La producción de leche y las industrias relacionadas constituyen un importante factor de empleo en el sector urbano y rural argentino. Esta materia prima de consumo

masivo es un componente que no se puede reemplazar en la canasta básica familiar y es importante en la canasta de los hogares de más bajos ingresos. Es aquí donde radica la principal importancia de mejorar la eficiencia de los establecimientos destinados a la producción de leche en Argentina cuya producción anual se encuentra en valores constantes en los últimos años. Se puede aumentar la producción de una forma sustentable. Las medidas de eficiencia nos indican la cantidad de producto que resulta de un proceso orientado a transformar una cantidad determinada de ingreso o recurso y convertirlo en un elemento nuevo con apropiado retorno neto. En los últimos años, en los distintos sistemas productivos, el desarrollo tecnológico permitió la incorporación de nuevos dispositivos que permiten recopilar electrónicamente una gran cantidad de datos. En los tambos, este avance permitió obtener registros de eventos productivos y reproductivos para cada animal a lo largo de su lactancia. Es necesario contar con datos actualizados, pero igual de importante es que sean procesados y transformados en información que colaboren con el monitoreo del desempeño de los rodeos lecheros. Además, la información obtenida permite la estimación de indicadores útiles para planificar acciones de impacto en el éxito del negocio lechero.

En el marco de esta tesis, se estimaron indicadores que permitieron contrastar la eficiencia productiva y reproductiva tanto de distintos sistemas productivos como así también la comparación entre lactancias que sufrieron afecciones sanitarias con respecto a las que no sufrieron casos clínicos de ciertos eventos sanitarios. La técnica de análisis de sobrevivencia permitió estimar indicadores reproductivos para los tambos en estudio. De esta forma fue posible el cálculo de indicadores tales como los días vacíos, días a descarte y la tasa de preñez acumulada a los 100 días en lactancia para cada sistema productivo y para lactancias con y sin eventos sanitarios. El conocimiento del comportamiento de las curvas de lactancia es crucial para la toma de decisiones en un tambo. Esto no sólo a nivel promedio poblacional o a nivel del tambo, sino también a nivel individual. La estimación de la curva lactancia provee parámetros que son fundamentales para determinar el costo reproductivo. Además, se estimaron indicadores productivos tales como días al pico, producción al pico y acumulada a 305 días en lactancia, todos derivados del ajuste de modelos no-lineales para datos correlacionados en el tiempo. La incorporación de efectos

aleatorios de sujeto/lactancia permitió contemplar la falta de cumplimiento del supuesto de independencia entre las observaciones recolectadas de un mismo animal y la gran variabilidad intersujetos.

Fue posible la comparación la eficiencia productiva y reproductiva de los sistemas productivos de Argentina, estos son estabulado, encierre y pastoril. Además, se estimaron los efectos de las afecciones sanitarias en la producción, reproducción y el descarte de lactancias ajustadas a 305 días en leche. Teniendo en cuenta que el 72% de las lactancias analizadas tuvo al menos un caso clínico de las enfermedades consideradas, es importante destacar que se puedan desarrollar a futuro investigaciones en ese sentido, es posible mejorar la eficiencia tanto productiva como reproductiva si se trabaja en este aspecto.

A través de un modelo bioeconómico fue posible una valoración económica de los indicadores productivos y reproductivos. Para esta evaluación se consideraron indicadores como la duración promedio de las lactancias, considerando la variabilidad intrínseca en número y tipos de lactancias que convergen contemporáneamente en el período de análisis y el valor de la producción resultante: la probabilidad de descarte, muerte y aborto de animales y el costo del reemplazo, el costo de las biotecnologías reproductivas utilizadas y de la oportunidad de la preñez, el momento del parto y el valor del ternero. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los distintos sistemas productivos analizados, el retorno anual por animal fue un 22% mayor para lactancias que no tuvieron eventos sanitarios en comparación con aquellas que si los tuvieron.

En el análisis de datos, provenientes de lactancias que se encontraban bajo sistemas de ordeños automatizados, a través de la implementación de herramientas estadísticas, fue posible modelar desde una perspectiva que permitió identificar y cuantificar un fenotipo de vaca con producción de leche relativamente alta e intervalos entre ordeños relativamente más largo que el promedio. De esta forma, aproximadamente el 7% de las lactancias en los tambos de ordeno automático producen más leche con menos ordeños que el promedio del rodeo. La eficiencia de utilización de los robots puede mejorarse a través del desarrollando de prácticas de manejo diferenciales para este tipo de animales. Esto puede facilitar la

futura adopción de tecnología del tipo de sistemas de ordeño automático, principalmente en sistemas de base pastoril, volviendo más atractiva la inversión.

Los resultados presentados en esta tesis pueden constituir una herramienta útil para la gestión de un establecimiento de producción de leche. Una gestión que invierte en la prevención de enfermedades y detección oportuna resultará en una mejora en los índices productivos y reproductivos, aumentando los ingresos y la calidad del producto. Para profundizar los análisis estadísticos y poder contribuir con una herramienta sólida para decisiones administrativas tempranas, se debe contar con registros diarios de producción y estado sanitario de cada vaca. Las consecuencias a largo plazo de las enfermedades son más difíciles de medir y no son consideradas con frecuencia. Sin embargo, atentan directamente a la rentabilidad de los establecimientos lecheros. Por lo tanto, la prevención de eventos sanitarios mejora el desempeño productivo y reproductivo.

IMPLICANCIA DE LOS EVENTOS SANITARIOS EN RODEOS LECHEROS

En la base de datos analizada fue posible cuantificar la implicancia que tuvieron los eventos sanitarios de mastitis, hipocalcemia, desplazamiento de abomaso, enfermedades reproductivas y afecciones metabólicas en rodeos lecheros de Argentina. Los resultados obtenidos están en consonancia con valores publicados para otros países.

Para lograr mejorar la toma de decisiones en los tambos es importante inicialmente contar con información de las características particulares de cada sistema productivo. Esto permite la comparación con sistemas semejantes y de esta manera fijar objetivos que contribuyan a mejorar el funcionamiento general del establecimiento. Además, contar con información confiable permite evaluar el desempeño a través de indicadores y evaluar la situación actual. Por todo esto es sumamente necesario contar con registros de calidad, los que pueden transformarse en información, permitiendo desarrollar estrategias para poder atender aquellas áreas productivas con mayores necesidades, direccionando los esfuerzos

de una manera más eficiente. Cabe mencionar que el conocimiento particular de los sistemas de producción de leche puede ser de utilidad para diagramar estrategias políticas sectoriales.

Para todos los sistemas productivos analizados en este trabajo, se pudo evidenciar que las lactancias con mayor eficiencia reproductiva lograron disminuir la cantidad de días vacíos del rodeo tanto para vacas primíparas como multíparas. Esta disminución es de por lo menos un ciclo estral, lo que demuestra que aún es posible mejorar el desempeño reproductivo de los rodeos lecheros de Argentina.

Los resultados de esta tesis muestran que a través de la combinación de indicadores productivos y reproductivos es posible estimar la eficiencia económica de un sistema de producción. De esta forma, se puede transformar la gran cantidad de datos provenientes de los registros diarios de los tambos en información útil que colabore con la toma criteriosa de decisiones en los rodeos lecheros. Con esto, fue posible cuantificar una mejora en el retorno neto por vaca, para aquellas lactancias que no sufrieron las afecciones sanitarias, con una ganancia extra por año de 71,57 dólares para los sistemas estabulados, 164,27 para los de encierre permanente y 106,59 para los sistemas pastoriles, en comparación con la mediana de los tambos.

Por último, fue posible valerse de las herramientas estadísticas utilizadas en esta tesis para identificar y cuantificar animales que pueden sostener a lo largo de su lactancia producciones de leche diarias relativamente altas e intervalos de ordeños relativamente más largos que el promedio bajo sistemas de ordeños automáticos.

RELEVANCIAS DE LAS CONTRIBUCIONES

El principal valor de este trabajo radica en la importancia trascendental que tiene la posibilidad de implementar herramientas estadísticas que logren transformar datos

recolectados diariamente en información indispensable que colabore con la mejora continua de los sistemas de producción de leche.

Es necesario comprender que en la gestión de los sistemas lecheros la inversión en la prevención y la detección oportuna de enfermedades es importante ya que esto resulta en una mejora en los índices productivos y reproductivos, aumentando los ingresos y la calidad del producto obtenido. Las consecuencias a largo plazo de las enfermedades son más difíciles de medir y no son consideradas con frecuencia.

En los últimos años, junto con la posibilidad de recopilar y monitorear electrónicamente los registros de los eventos productivos y reproductivos para cada vaca a lo largo de cada lactancia, ha aumentado la disponibilidad de datos para su posterior análisis. Los indicadores productivos y reproductivos calculados a través de diferentes técnicas estadísticas permiten observar variabilidad en eficiencia reproductiva y productiva entre los sistemas productivos, que ponen en evidencia a la importancia de cómo los factores de manejo impactan los resultados económicos. Por lo tanto, resulta conveniente en cualquier sistema productivo evaluar el impacto de la eficiencia productiva y reproductiva desde una perspectiva económica. Para ello, hacen falta estimar parámetros de la curva de lactancia como así también la duración promedio de las lactancias y el número de lactancia; la probabilidad del descarte y muerte de animales y el costo del reemplazo; el costo de las biotecnologías reproductivas utilizadas y de la oportunidad de la preñez; el momento del parto y el valor del ternero, como asimismo la probabilidad de abortos. Por esto y para profundizar los análisis estadísticos y contribuir con una herramienta sólida para decisiones administrativas tempranas, es importante poder contar con sólidos registros diarios de producción, reproducción y estado sanitario de cada uno de los animales con los que se cuenta.

Los aportes metodológicos realizados en la tesis establecen un mecanismo para el manejo y tratamiento de datos obtenidos diariamente en los tambos cuando se pretende analizar y comparar la eficiencia de los sistemas productivos. Distintas herramientas estadísticas como el ajuste de modelos lineales y no lineales, análisis de sobrevida, regresión de riesgos proporcionales de Cox, regresiones logísticas, como así también

análisis multivariados, permitieron derivar indicadores tanto productivo como reproductivo para los tambos en estudio.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

La propuesta de futuras líneas de trabajo se presenta desde un enfoque integrador. Se considera que todos aquellos animales que permanecen más tiempo productivo en el rodeo mejoran la eficiencia del sistema. En tal sentido, para realizar análisis y poder obtener indicadores es importante que se pueda contar con información fehaciente sobre toda la vida de un animal. La longevidad de una vaca es una medida de su vida productiva y está determinada por la producción, fertilidad, salud y funcionalidad del animal. Dentro de los sistemas productivos, la longevidad puede definirse y medirse de diferentes formas. Así, desde una perspectiva simplista, la longevidad de una vaca lechera se define como la habilidad para poder tener una larga vida. Por otra parte, la vida del rodeo se puede definir como el tiempo que transcurre desde el nacimiento hasta la muerte o el descarte, mientras que la vida productiva es el número de días desde el primer parto hasta la muerte o el descarte. A pesar de conocer los beneficios de extender la duración de la vida productiva, puede ocurrir que el tiempo productivo respecto al improductivo de un animal en el rodeo lechero genere un balance negativo. Los factores que influyen la vida productiva de los rodeos, tales como la salud, la crianza, las condiciones del medio y el manejo, comúnmente se ignoran a la hora de realizar evaluaciones, subestimando de esta forma el efecto que estos factores tienen sobre la duración de la vida productiva de los animales. Por esto, futuras investigaciones son necesarias para poder evaluar a lo largo de la vida productiva de cada animal las consecuencias de los eventos de salud en el desempeño tanto productivo como reproductivo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Adriaens, I., Huybrechts, T., Aernouts, B., Geerinckx, K., Piepers, S., de Ketelaere, B., & Saeys, W. (2018). Method for short-term prediction of milk yield at the quarter level to improve udder health monitoring. *Journal of Dairy Science*, *101*(11), 10327–10336. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14696>
- Akers, R. M. (2017). A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, *100*(12), 10332–10352.
- Álvarez, A., del Corral, J., Solís, D., & Pérez, J. A. (2008). Does intensification improve the economic efficiency of dairy farms? *Journal of Dairy Science*, *91*(9), 3693–3698.
- André, G., Berentsen, P. B. M., Engel, B., de Koning, C. J. A. M., & Oude Lansink, A. G. J. M. (2010). Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics. *Journal of Dairy Science*, *93*(3), 942–953. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2373>
- Australia, D. (2017). *InCalf book for dairy farmers*. Dairy Australia.
- Bailey, T. L., & Currin, J. F. (2009). *Milk production evaluation in first lactation heifers*.
- Bailie, J. H. (1982). Management and economic effects of different levels of oestrus detection in the dairy herd. *The Veterinary Record*, *110*(10), 218–221.
- Barkema, H. W., von Keyserlingk, M. A. G., Kastelic, J. P., Lam, T., Luby, C., Roy, J.-P., LeBlanc, S. J., Keefe, G. P., & Kelton, D. F. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, *98*(11), 7426–7445.
- Barker, Z. E., Leach, K. A., Whay, H. R., Bell, N. J., & Main, D. C. J. (2010). Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. *Journal of Dairy Science*, *93*(3), 932–941.

- Bicalho, R. C., Vokey, F., Erb, H. N., & Guard, C. L. (2007). Visual locomotion scoring in the first seventy days in milk: Impact on pregnancy and survival. *Journal of Dairy Science*, *90*(10), 4586–4591.
- Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of Dairy Science*, *98*(6), 4198–4205. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>
- Bouallegue, M., Steri, R., M'hamdi, N., & Hamouda, M. ben. (2015). Modelling of individual lactation curves of Tunisian Holstein-Friesian cows for milk yield, fat, and protein contents using parametric, orthogonal and spline models. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *24*(1).
- Brannen, L. R., Ulberg, L. C., & Zimbelman, R. G. (1977). Managing reproduction in dairy cattle: III. Changes in culling patterns with increased reproduction. *Journal of Dairy Science*, *60*(7), 1125–1132.
- Busso, F., Corbellini, I., Carlos, N., Grigera, I., & Juan, M. (2009). *Organización y análisis de un sistema de registros de enfermedades del periparto en vacas lecheras: su incidencia e impacto económico sobre las empresas*.
- Cabrera, V. E. (2010). A large Markovian linear program to optimize replacement policies and dairy herd net income for diets and nitrogen excretion. *Journal of Dairy Science*, *93*(1), 394–406. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2352>
- Cabrera, V. E. (2012). A simple formulation and solution to the replacement problem: A practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *Journal of Dairy Science*, *95*(8), 4683–4698. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5214>
- Cabrera, V. E. (2014). Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *Animal*, *8*(s1), 211–221.

- Cardoso, F. C., Kalscheur, K. F., & Drackley, J. K. (2020). Symposium review: Nutrition strategies for improved health, production, and fertility during the transition period. *Journal of Dairy Science*, *103*(6), 5684–5693. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17271>
- Carvalho, M. R., Peñagaricano, F., Santos, J. E. P., DeVries, T. J., McBride, B. W., & Ribeiro, E. S. (2019). Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *102*(12), 11701–11717. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17025>
- Castro, A., Pereira, J. M., Amiama, C., & Bueno, J. (2012). Estimating efficiency in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*, *95*(2), 929–936.
- Cattaneo, L., Baudracco, J., Lazzarini, B., & Ortega, H. (2015). Methodology to estimate the cost of delayed pregnancy for dairy cows. An example for Argentina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *44*(6), 226–229.
- Centeno, A. R. (2013). “*Intensificación en el tambo. ¿Qué cambió?*”. AER San Francisco, INTA.
- Centeno, A. R. (2015). *Determinación de eficiencia técnica en tambos de la Provincia de Córdoba. Efectos de la carga animal y el consumo de concentrado*.
- Chapinal, N., LeBlanc, S. J., Carson, M. E., Leslie, K. E., Godden, S., Capel, M., Santos, J. E. P., Overton, M. W., & Duffield, T. F. (2012). Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, *95*(10), 5676–5682. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5132>
- Clark, C. E. F., Kwinten, N. B. P., van Gastel, D., Kerrisk, K. L., Lyons, N. A., & Garcia, S. C. (2014). Differences in voluntary cow traffic between Holstein and Illawarra breeds of dairy cattle in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *27*(4), 587.
- Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio*, *49*(1), 35–48.

- Cole, J. B., Ehrlich, J. L., & Null, D. J. (2012). Short communication: Projecting milk yield using best prediction and the MilkBot lactation model. *Journal of Dairy Science*, *95*(7), 4041–4044.
- Cole, J. B., Null, D. J., & de Vries, A. (2011). Best prediction of 305-day lactation yields with regional and seasonal effects. *Journal of Dairy Science*, *94*(3), 1601–1604.
- Connor, E. E., Hutchison, J. L., van Tassell, C. P., & Cole, J. B. (2019). Defining the optimal period length and stage of growth or lactation to estimate residual feed intake in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *102*(7), 6131–6143.
- Cook, N. B., Hess, J. P., Foy, M. R., Bennett, T. B., & Brotzman, R. L. (2016). Management characteristics, lameness, and body injuries of dairy cattle housed in high-performance dairy herds in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, *99*(7), 5879–5891.
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-10956>
- Crociati, M., Sylla, L., van Straten, M., Stradaoli, G., & Monaci, M. (2020). Estimating the net return of a remote calving alarm system in a dairy farm. *Journal of Dairy Science*, *103*(10), 9646–9655.
- Curtis, C. R., Erb, H. N., Sniffen, C. J., Smith, R. D., & Kronfeld, D. S. (1985). Path Analysis of Dry Period Nutrition, Postpartum Metabolic and Reproductive Disorders, and Mastitis in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, *68*(9), 2347–2360.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81109-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81109-7)
- Dahl, M. O., de Vries, A., Maunsell, F. P., Galvao, K. N., Risco, C. A., & Hernandez, J. A. (2018). Epidemiologic and economic analyses of pregnancy loss attributable to mastitis in primiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *101*(11), 10142–10150.
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14619>
- Dänicke, S., Meyer, U., Kersten, S., & Frahm, J. (2018). Animal models to study the impact of nutrition on the immune system of the transition cow. In *Research in Veterinary Science* (Vol. 116, pp. 15–27). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.01.023>

- Davidian, M., & Giltinan, D. M. (2003). Nonlinear models for repeated measurement data: an overview and update. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 8(4), 387–419.
- Davis, S. R., Farr, V. C., Copeman, P. J. A., Carruthers, V. R., Knight, C. H., & Stelwagen, K. (1998). Partitioning of milk accumulation between cisternal and alveolar compartments of the bovine udder: relationship to production loss during once daily milking. *Journal of Dairy Research*, 65(1), 1–8.
- de Boer, J. A., Weller, J. I., Gipson, T. A., & Grossman, M. (1989). Multiphasic analysis of milk and fat yield curves of Israeli Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 72(8), 2143–2152.
- de Koning, C. (2010). *Automatic milking—common practice on dairy farms*.
- de Koning, K. (2011). Automatic milking: Common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. *Proceedings of the Dairy Research Foundation Symposium*, 6, 14–31.
- de Vries, A. (2006). Economic value of pregnancy in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 3876–3885. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72430-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72430-4)
- de Vries, A., & Marcondes, M. I. (2020). Review: Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. *Animal*, 14(S1), S155–S164. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003264>
- de Vries, A., Olson, J. D., & Pinedo, P. J. (2010). Reproductive risk factors for culling and productive life in large dairy herds in the eastern United States between 2001 and 2006. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 613–623.
- de Vries, A., van Leeuwen, J., & Thatcher, W. W. (2010). Economics of improved reproductive performance in dairy cattle. *EDIS*, 2005(9).
- de Vries, M., Bokkers, E. A. M., van Reenen, C. G., Engel, B., van Schaik, G., Dijkstra, T., & de Boer, I. J. M. (2015). Housing and management factors associated with indicators of dairy cattle welfare. *Preventive Veterinary Medicine*, 118(1), 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.11.016>

- Dechow, C. D., & Goodling, R. C. (2008). Mortality, culling by sixty days in milk, and production profiles in high-and low-survival Pennsylvania herds. *Journal of Dairy Science*, *91*(12), 4630–4639.
- Dematawewa, C. M. B., Pearson, R. E., & VanRaden, P. M. (2007). Modeling extended lactations of Holsteins. *Journal of Dairy Science*, *90*(8), 3924–3936.
- di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, W. C. (2020). InfoStat versión 2020. In *Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. URL <http://www.infostat.com.ar> (pp. 195–199). www.infostat.com.ar
- Dirección Nacional de Lechería. (2021). *Estadísticas*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_lecheria/estadisticas/
- Diskin, M. G., Murphy, J. J., & Sreenan, J. M. (2006). Embryo survival in dairy cows managed under pastoral conditions. *Animal Reproduction Science*, *96*(3–4), 297–311.
- Drackley, J. K. (1999). ADSA foundation scholar award: Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *Journal of Dairy Science*, *82*(11), 2259–2273. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(99)75474-3)
- Druet, T., Jaffrézic, F., Boichard, D., & Ducrocq, V. (2003). Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of French Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *86*(7), 2480–2490. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73842-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73842-9)
- Dubuc, J., Duffield, T. F., Leslie, K. E., Walton, J. S., & LeBlanc, S. J. (2011). Effects of postpartum uterine diseases on milk production and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*(3), 1339–1346. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3758>
- Ehrlich, J. L. (2011). Quantifying Shape of Lactation Curves, and Benchmark Curves for Common Dairy Breeds and Parities. In *THE BOVINE PRACTITIONER* (Vol. 45, Issue 1). <http://milkbot.com>

- Ehrlich, J. L. (2013). Quantifying inter-group variability in lactation curve shape and magnitude with the MilkBot® lactation model. *PeerJ*, 1, e54.
- Fair, T. (2015). The contribution of the maternal immune system to the establishment of pregnancy in cattle. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 6, Issue JAN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00007>
- FAO. (2021). *Food outlook–biannual report on global food markets: June 2021*. Food Outlook Rome (Italy).
- Fitzmaurice, G., Davidian, M., Verbeke, G., & Molenberghs, G. (2008). *Longitudinal data analysis*. CRC press.
- Frossasco, G., Garcia, F., Odorizzi, A., Ferrer, J., Brunetti, M., & Echeverría, A. (2017). Evaluación de distintos sistemas lecheros intensivos. Inf. téc. Área Producción Animal EEA INTA Manfredi. Online: <https://bit.ly/2GvCI2T>.
- Gastaldi, L. B., Litwin, G. M., Maekawa, M., Moretto, M. L., Marino, M. R., Engler, P. L., Cuatrin, A., Centeno, A. R., & Galetto, A. J. (2020). *Encuesta sectorial lechera del INTA. Resultados del ejercicio productivo 2018-2019*. EEA Rafaela, INTA.
- Geyer, C. J. (1992). Practical markov chain monte carlo. *Statistical Science*, 473–483.
- Gilbert, R. O. (2019). Symposium review: Mechanisms of disruption of fertility by infectious diseases of the reproductive tract. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3754–3765.
- Gipson, T. A., & Grossman, M. (1989). Diphasic analysis of lactation curves in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 72(4), 1035–1044.
- Giuliodori, M. J., Magnasco, M., Magnasco, R. P., Lacau-Mengido, I. M., & de la Sota, R. L. (2017). Purulent vaginal discharge in grazing dairy cows: Risk factors, reproductive performance, and prostaglandin F2 α treatment. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3805–3815.
- Giuliodori, M. J., Magnasco, R. P., Becu-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I. M., Risco, C. A., & de la Sota, R. L. (2013a). Clinical endometritis in an Argentinean herd of dairy cows: Risk

- factors and reproductive efficiency. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 210–218.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5682>
- Giuliodori, M. J., Magnasco, R. P., Becu-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I. M., Risco, C. A., & de la Sota, R. L. (2013b). Metritis in dairy cows: Risk factors and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 96(6), 3621–3631.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5922>
- Godden, S., Rapnicki, P., Stewart, S., Fetrow, J., Johnson, A., Bey, R., & Farnsworth, R. (2003). Effectiveness of an internal teat seal in the prevention of new intramammary infections during the dry and early-lactation periods in dairy cows when used with a dry cow intramammary antibiotic. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 3899–3911.
- Goff, J. P., & Horst, R. L. (1997). Physiological Changes at Parturition and Their Relationship to Metabolic Disorders. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1260–1268.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76055-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76055-7)
- Gonzalez-Recio, O., Alenda, R., Chang, Y. M., Weigel, K. A., & Gianola, D. (2006). Selection for female fertility using censored fertility traits and investigation of the relationship with milk production. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4438–4444.
- Groenendaal, H., Galligan, D. T., & Mulder, H. A. (2004). An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(7), 2146–2157.
- Grossman, M., & Koops, W. J. (1988). Multiphasic Analysis of Lactation Curves in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 71(6), 1598–1608.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79723-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79723-4)
- Grossman, M., & Koops, W. J. (2003). Modeling extended lactation curves of dairy cattle: A biological basis for the multiphasic approach. *Journal of Dairy Science*, 86(3), 988–998.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73682-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73682-0)

- Gussmann, M., Denwood, M., Kirkeby, C., Farre, M., & Halasa, T. (2019). Associations between udder health and culling in dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, *171*, 104751.
- Hadley, G. L., Wolf, C. A., & Harsh, S. B. (2006). Dairy cattle culling patterns, explanations, and implications. *Journal of Dairy Science*, *89*(6), 2286–2296.
- Halachmi, I., & Guarino, M. (2016). Editorial: Precision livestock farming: A “per animal” approach using advanced monitoring technologies. In *Animal* (Vol. 10, Issue 9, pp. 1482–1483). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001142>
- Hammer, J. F., Morton, J. M., & 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*(5), 167–174.
- Hansen, P. J. (2013). Physiology and endocrinology symposium: Maternal immunological adjustments to pregnancy and parturition in ruminants and possible implications for postpartum uterine health: Is there a prepartum-postpartum nexus? *Journal of Animal Science*, *91*(4), 1639–1649. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5934>
- Hare, E., Norman, H. D., & Wright, J. R. (2006). Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. *Journal of Dairy Science*, *89*(9), 3713–3720.
- Hertl, J. A., Schukken, Y. H., Tauer, L. W., Welcome, F. L., & Gröhn, Y. T. (2018). Does clinical mastitis in the first 100 days of lactation predict increased mastitis occurrence and shorter herd life in dairy cows? *Journal of Dairy Science*, *101*(3), 2309–2323. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12615>
- Hogeveen, H., Steeneveld, W., & Wolf, C. A. (2019). Production Diseases Reduce the Efficiency of Dairy Production: A Review of the Results, Methods, and Approaches Regarding the Economics of Mastitis. *Review in Advance First Posted On*. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518>
- Hostens, M., Ehrlich, J., van Ranst, B., & Opsomer, G. (2012). On-farm evaluation of the effect of metabolic diseases on the shape of the lactation curve in dairy cows through the

- MilkBot lactation model. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 2988–3007.
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4791>
- Huzzey, J. M., Veira, D. M., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. G. (2007). Parturition behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3220–3233. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-807>
- Hyde, J., & Engel, P. (2002). Investing in a robotic milking system: A Monte Carlo simulation analysis. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2207–2214.
- Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P. L. A. M., van der Weijden, G. C., & Hogeveen, H. (2010). Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*, 74(5), 835–846.
- Ingvarsen, K. L. (2006). Feeding- and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3–4), 175–213.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003>
- Jago, J., & Burke, J. (2010). An evaluation of two pastoral dairy production systems using automatic milking technology. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 109–116.
- Janković, M., Leko, A., & Šuvak, N. (2016). Application of lactation models on dairy cow farms. *Croatian Operational Research Review*, 217–227.
- Kaplan, E. L., & Meier, P. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53(282), 457–481.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>
- Knaus, W. (2009). Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(7), 1107–1114.
- Knight, C. H., & Dewhurst, R. J. (1994). Once daily milking of dairy cows: relationship between yield loss and cisternal milk storage. *Journal of Dairy Research*, 61(4), 441–449.

- Kong, L., Li, J., Li, R., Zhao, X., Ma, Y., Sun, S., Huang, J., Ju, Z., Hou, M., & Zhong, J. (2018). Estimation of 305-day milk yield from test-day records of Chinese Holstein cattle. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 791–797.
- Krpálková, L., O'Mahony, N., Carvalho, A., Campbell, S., & Walsh, J. (2020). Evaluating the economic profit of reproductive performance through the integration of a dynamic programming model on a specific dairy farm. *Czech Journal of Animal Science*, 65(4), 124–134.
- Kumar, N., Manimaran, A., Kumaresan, A., Jeyakumar, S., Sreela, L., Mooventhan, P., & Sivaram, M. (2017). Mastitis effects on reproductive performance in dairy cattle: a review. In *Tropical Animal Health and Production* (Vol. 49, Issue 4, pp. 663–673). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1253-4>
- Lazzarini, B., Baudracco, J., Tuñon, G., Gastaldi, L., Lyons, N., Quattrochi, H., & Lopez-Villalobos, N. (2019). REVIEW: Milk production from dairy cows in Argentina: Current state and perspectives for the future. *Applied Animal Science*, 35(4), 426–432. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01842>
- Leblanc, S. (2010a). Assessing the Association of the Level of Milk Production with Reproductive Performance in Dairy Cattle. In *Journal of Reproduction and Development* (Vol. 56).
- Leblanc, S. (2010b). Monitoring Metabolic Health of Dairy Cattle in the Transition Period Introduction-Metabolic Challenges in Peripartum Dairy Cows and Their Associations with Reproduction. In *Journal of Reproduction and Development* (Vol. 56).
- Leblanc, S. J. (2020a). Review: Relationships between metabolism and neutrophil function in dairy cows in the peripartum period. *Animal*, 14(S1), S44–S54. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003227>
- Leblanc, S. J. (2020b). Review: Relationships between metabolism and neutrophil function in dairy cows in the peripartum period. *Animal*, 14(S1), S44–S54. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003227>

- Liang, D., Arnold, L. M., Stowe, C. J., Harmon, R. J., & Bewley, J. M. (2017). Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. *Journal of Dairy Science*, *100*(2), 1472–1486. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11565>
- Lindstrom, M. J., & Bates, D. M. (1990). Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. *Biometrics*, 673–687.
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Schabenberger, O. (1996). *SAS system for mixed models* (Vol. 633). SAS institute Cary, NC.
- Llanos, E., Astigarraga, L., & Picasso, V. (2018). Energy and economic efficiency in grazing dairy systems under alternative intensification strategies. *European Journal of Agronomy*, *92*, 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.010>
- Løvendahl, P., & Chagunda, M. G. G. (2011). Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. *Journal of Dairy Science*, *94*(11), 5381–5392. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3589>
- Lucy, M. C. (2001). Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *Journal of Dairy Science*, *84*(6), 1277–1293.
- Lucy, M. C. (2019). Symposium review: Selection for fertility in the modern dairy cow—Current status and future direction for genetic selection. *Journal of Dairy Science*, *102*(4), 3706–3721.
- Lyons, N. A., & Kerrisk, K. L. (2017). Current and potential system performance on commercial automatic milking farms. *Animal Production Science*, *57*(7), 1550–1556. <https://doi.org/10.1071/AN16513>
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L., Dhand, N. K., & Garcia, S. C. (2013). Factors associated with extended milking intervals in a pasture-based automatic milking system. *Livestock Science*, *158*(1–3), 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.10.010>
- Lyons, N. A., Kerrisk, K. L., & Garcia, S. C. (2013). Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total daily 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>
- Macciotta, N. P. P., Dimauro, C., Rasso, S. P. G., Steri, R., & Pulina, G. (2011). The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. In *Italian Journal of Animal Science* (Vol. 2011, pp. 213–223). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>
- Macciotta, N. P. P., Vicario, D., & Cappio-Borlino, A. (2005). Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1178–1191. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72784-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72784-3)
- Macciotta, N. P. P., Vicario, D., di Mauro, C., & Cappio-Borlino, A. (2004). A multivariate approach to modeling shapes of individual lactation curves in cattle. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 1092–1098.
- Martino, F., & Capitaine Funes, A. (2011). ¿Cuál es el verdadero objetivo reproductivo del sistema de producción de leche? *IX Simposio Internacional de Reproduccion Animal IRAC*, 151–163.
- McConnel, C. S., Lombard, J. E., Wagner, B. A., & Garry, F. B. (2008). Evaluation of factors associated with increased dairy cow mortality on united states dairy operations. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1423–1432. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0440>
- Meadows, C., Rajala-Schultz, P. J., & Frazer, G. S. (2005). A spreadsheet-based model demonstrating the nonuniform economic effects of varying reproductive performance in Ohio dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1244–1254.
- Melendez, P., & Pinedo, P. (2007). The association between reproductive performance and milk yield in Chilean Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 184–192.
- Meyer, K. (1983). Scope for evaluating dairy sires using first and second lactation records. *Livestock Production Science*, 10(6), 531–553.
- Miller, R. H., Norman, H. D., Kuhn, M. T., Clay, J. S., & Hutchison, J. L. (2007). Voluntary waiting period and adoption of synchronized breeding in dairy herd improvement herds.

- Journal of Dairy Science*, 90(3), 1594–1606.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71645-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71645-4)
- Molenberghs, G., & Verbeke, G. (2005). *Models for Discrete Longitudinal Data*. Springer-Verlag. *New York*.
- Molfino, J. (2018). *Investigations into system and cow performance efficiency in pasture-based automatic milking systems*.
- Mulligan, F. J., & Doherty, M. L. (2008). Production diseases of the transition cow. *Veterinary Journal*, 176(1), 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.018>
- Nixon, M., Bohmanova, J., Jamrozik, J., Schaeffer, L. R., Hand, K., & Miglior, F. (2009). Genetic parameters of milking frequency and milk production traits in Canadian Holsteins milked by an automated milking system. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3422–3430.
- Norman, H. D., Wright, J. R., Hubbard, S. M., Miller, R. H., & Hutchison, J. L. (2009). Reproductive status of Holstein and Jersey cows in the United States. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3517–3528.
- Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (2021). *OCLA*. Documentos e Informes.
<https://www.ocla.org.ar/contents>
- Palladino, A. (2018). ¿Qué tienen en común los tambos más rentables? *Revista CREA N° 447*, 11–17.
- Pantoja, J. C. F., Almeida, A. P., dos Santos, B., & Rossi, R. S. (2016). An investigation of risk factors for two successive cases of clinical mastitis in the same lactation. *Livestock Science*, 194, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.10.010>
- Peter, A. T. (2000). Abortions in dairy cows: new insights and economic impact. Proceedings of Western Canadian Dairy Seminar, Red Deer, Alberta, Canada. *Advanced Dairy Technology*, 12, 233–244.
- Piccardi, M. B., Bruno, C. I., Córdoba, M., Masía, F., & Balzarini, M. G. (2019). *Mediciones en el Tambo*.

- Piccardi, M., Capitaine Funes, A., Balzarini, M., & Bó, G. A. (2013). Some factors affecting the number of days open in Argentinean dairy herds. *Theriogenology*, *79*(5), 760–765.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.11.032>
- Piccardi, M., Funes, A. C., Bó, G. A., & Balzarini, M. (2011). Impacto del nivel de producción, estación de parto y el tipo de servicio sobre la tasa de preñez acumulada a 100 días en vacas lecheras en la Argentina. *Agriscientia*, *28*(2), 127–135.
- Piccardi, M., Macchiavelli, R., Funes, A. C., Bó, G. A., & Balzarini, M. (2017). Fitting milk production curves through nonlinear mixed models. *Journal of Dairy Research*, *84*(2), 146–153. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000085>
- Piccardi, M., Pipino, D., Bó, G. A., & Balzarini, M. (2014). Productive and reproductive performance of first lactation purebred Holstein versus Swedish red & white×Holstein in central Argentina. *Livestock Science*, *165*(1), 37–41.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.025>
- Pinedo, P. J., & de Vries, A. (2010). Effect of days to conception in the previous lactation on the risk of death and live culling around calving. *Journal of Dairy Science*, *93*(3), 968–977.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2408>
- Pinedo, P. J., de Vries, A., & Webb, D. W. (2010). Dynamics of culling risk with disposal codes reported by Dairy Herd Improvement dairy herds. *Journal of Dairy Science*, *93*(5), 2250–2261.
- Pinedo, P. J., Melendez, P., Paudyal, S., Krauss, R., Arias, F., Lopez, H., Luco, A., & Vergara, C. F. (2016). Association between disease occurrence and fertility of dairy cows in three geographic regions of Chile. *Theriogenology*, *86*(3), 817–823.
- Pinedo, P., Santos, J. E. P., Chebel, R. C., Galvão, K. N., Schuenemann, G. M., Bicalho, R. C., Gilbert, R. O., Rodriguez-Zas, S. L., Seabury, C. M., Rosa, G., & Thatcher, W. (2020). Associations of reproductive indices with fertility outcomes, milk yield, and survival in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *103*(7), 6647–6660.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17867>

- Raboisson, D., Mounié, M., & Maigné, E. (2014). Diseases, reproductive performance, and changes in milk production associated with subclinical ketosis in dairy cows: A meta-analysis and review. *Journal of Dairy Science*, *97*(12), 7547–7563. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8237>
- Randall, L. v, Green, M. J., Chagunda, M. G. G., Mason, C., Green, L. E., & Huxley, J. N. (2016). Lameness in dairy heifers; impacts of hoof lesions present around first calving on future lameness, milk yield and culling risk. *Preventive Veterinary Medicine*, *133*, 52–63.
- Rearte, R., LeBlanc, S. J., Corva, S. G., de la Sota, R. L., Lacau-Mengido, I. M., & Giuliodori, M. J. (2018). Effect of milk production on reproductive performance in dairy herds. *Journal of Dairy Science*, *101*(8), 7575–7584. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13796>
- Rekik, B., Gara, A. ben, Hamouda, M. ben, & Hammami, H. (2003). Fitting lactation curves of dairy cattle in different types of herds in Tunisia. *Livestock Production Science*, *83*(2–3), 309–315.
- Ribeiro, E. S., & Carvalho, M. R. (2017). Impact and mechanisms of inflammatory diseases on embryonic development and fertility in cattle. *Animal Reproduction*, *14*(3), 589–600. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR1002>
- Ribeiro, E. S., Gomes, G., Greco, L. F., Cerri, R. L. A., Vieira-Neto, A., Monteiro, P. L. J., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2016). Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *99*(3), 2201–2220. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10337>
- Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Bisinotto, R. S., Monteiro, A. P. A., Favoreto, M., Ayres, H., Marsola, R. S., Martinez, N., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2013). Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving grazing dairy cows supplemented with concentrates. *Journal of Dairy Science*, *96*(9), 5682–5697. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6335>
- Roche, J. R., Burke, C. R., Crookenden, M. A., Heiser, A., Loor, J. L., Meier, S., Mitchell, M. D., Phyn, C. V. C., & Turner, S. A. (2018). Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*, *30*(1), 85–100. <https://doi.org/10.1071/RD17412>

- Rodenburg, J. (2017). Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*, *100*(9), 7729–7738.
- Rodríguez, E. M., Aris, A., & Bach, A. (2017). Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*(9), 7427–7434. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12210>
- Rollin, E., Dhuyvetter, K. C., & Overton, M. W. (2015). The cost of clinical mastitis in the first 30 days of lactation: An economic modeling tool. *Preventive Veterinary Medicine*, *122*(3), 257–264.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., & Kitagawa, G. (1986). Akaike information criterion statistics. *Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel*, *81*(10.5555), 26853.
- Salfer, J. A., Minegishi, K., Lazarus, W., Berning, E., & Endres, M. I. (2017). Finances and returns for robotic dairies. *Journal of Dairy Science*, *100*(9), 7739–7749.
- Santos, J. E. P., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Lima, F. S., Greco, L. F., Staples, C. R., Thatcher, W. W., Smith, M. F., Lucy, M. C., & Pate, J. L. (2011). Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. *Reproduction in Domestic Ruminants VII*, 387–403.
- Santos, J. E. P., Cerri, R. L. A., Ballou, M. A., Higginbotham, G. E., & Kirk, J. H. (2004). Effect of timing of first clinical mastitis occurrence on lactational and reproductive performance of Holstein dairy cows. *Animal Reproduction Science*, *80*(1–2), 31–45.
- Santos, J. E. P., Rutigliano, H. M., & Sá Filho, M. F. (2009). Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, *110*(3–4), 207–221.
- SAS Institute Inc., C. N. USA. (2011). *SAS software 9.4*. <https://www.sas.com>
- Schabenberger, O., & Pierce, F. J. (2001). *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. CRC press.
- Schuster, J. C., Barkema, H. W., de Vries, A., Kelton, D. F., & Orsel, K. (2020). Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. In *Journal of Dairy*

Science (Vol. 103, Issue 12, pp. 11008–11024). Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>

Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 461–464.

Sewalem, A., Miglior, F., Kistemaker, G. J., Sullivan, P. van, & van Doormaal, B. J. (2008). Relationship between reproduction traits and functional longevity in Canadian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1660–1668.

Shabalina, T., Yin, T., & König, S. (2020). Influence of common health disorders on the length of productive life and stayability in German Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 583–596.

Siewert, J. M., Salfer, J. A., & Endres, M. I. (2019). Milk yield and milking station visits of primiparous versus multiparous cows on automatic milking system farms in the Upper Midwest United States. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3523–3530.

Silvestre, A. M., Martins, A. M., Santos, V. A., Ginja, M. M., & Colaço, J. A. (2009). Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122(2–3), 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.017>

Solano, L., Barkema, H. W., Pajor, E. A., Mason, S., LeBlanc, S. J., Heyerhoff, J. C. Z., Nash, C. G. R., Haley, D. B., Vasseur, E., & Pellerin, D. (2015). Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 6978–6991.

Sonck, B. R., & Donkers, H. W. J. (1995). The milking capacity of a milking robot. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(1), 25–37.

Spilke, J., & Fahr, R. (2003). Decision support under the conditions of automatic milking systems using mixed linear models as part of a precision dairy farming concept. *EFITA 2003 Conference*, 5–9.

Stelwagen, K., & Knight, C. H. (1997). Effect of unilateral once or twice daily milking of cows on milk yield and udder characteristics in early and late lactation. *Journal of Dairy Research*, 64(4), 487–494.

- Stockdale, C. R. (2006). Influence of milking frequency on the productivity of dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(7), 965–974.
- Taverna, M. (2015). Aportes para el análisis de la evolución reciente de los sistemas de producción de leche en Argentina. *INTA*.
- Tokuhisa, K., Tsuruta, S., de Vries, A., Bertrand, J. K., & Misztal, I. (2014). Estimation of regional genetic parameters for mortality and 305-d milk yield of US Holsteins in the first 3 parities. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4497–4502.
- Tse, C., Barkema, H. W., DeVries, T. J., Rushen, J., Vasseur, E., & Pajor, E. A. (2018). Producer experience with transitioning to automatic milking: Cow training, challenges, and effect on quality of life. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9599–9607.
- Umaña Sedó, S., Rosa, D., Mattioli, G., Luzbel de la Sota, R., & Giuliadori, M. J. (2018). Associations of subclinical hypocalcemia with fertility in a herd of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 10469–10477. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14242>
- Venjakob, P. L., Pieper, L., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2018). Association of postpartum hypocalcemia with early-lactation milk yield, reproductive performance, and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9396–9405. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14202>
- Verbeke, G. (1997). Linear mixed models for longitudinal data. In *Linear mixed models in practice* (pp. 63–153). Springer.
- Vijayakumar, M., Park, J. H., Ki, K. S., Lim, D. H., Kim, S. B., Park, S. M., Jeong, H. Y., Park, B. Y., & Kim, T. il. (2017). The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(8), 1093.
- Wall, E. H., & Mcfadden, T. B. (2012). TRIENNIAL LACTATION SYMPOSIUM: A local affair: How the mammary gland adapts to changes in milking frequency 1,2. *J. Anim. Sci*, 90, 1695–1707. <https://doi.org/10.2527/jas2011-4790>

- Wathes, D. C., Brickell, J. S., Bourne, N. E., Swali, A., & Cheng, Z. (2008). Factors influencing heifer survival and fertility on commercial dairy farms. *Animal*, 2(8), 1135–1143.
- Wathes, D. C., Cheng, Z., Bourne, N., Taylor, V. J., Coffey, M. P., & Brotherstone, S. (2007). Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domestic Animal Endocrinology*, 33(2), 203–225.
- Weaver, S. R., & Hernandez, L. L. (2016). Autocrine-paracrine regulation of the mammary gland. *Journal of Dairy Science*, 99(1), 842–853.
- West, B. T., Welch, K. B., & Galecki, A. T. (2014). *Linear mixed models: a practical guide using statistical software*. Crc Press.
- Wisnieski, L., Norby, B., Pierce, S. J., Becker, T., Gandy, J. C., & Sordillo, L. M. (2019). Predictive models for early lactation diseases in transition dairy cattle at dry-off. *Preventive Veterinary Medicine*, 163, 68–78.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.12.014>
- Wittrock, J. M., Proudfoot, K. L., Weary, D. M., & von Keyserlingk, M. A. G. (2011). Short communication: Metritis affects milk production and cull rate of Holstein multiparous and primiparous dairy cows differently. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2408–2412.
<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3697>
- Wood, P. D. P. (1967). *Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle*.

ANEXO 1

Código SAS para el ajuste de las curvas de lactancia según Wood

```
proc nlmixed data=data; /*by Sistema;*/  
  
parms a 19.9705 b 0.1694 c -0.00294 logsu 1 logs 1;  
  
b2 0.25 b3 0.27;  
  
media= (a+u)*(DE)**(b)*Exp(c * DE);  
  
model PLECHE ~ normal(media,exp(2*logsu));  
  
random u ~ normal(0, exp(2*logsu)) subject=TbolDnlact;  
  
run;
```

Código SAS para el ajuste de las curvas de lactancia según MilkBot

```
proc nlmixed data=...;  
  
parms a 40 b 65 c -0.07 d 0.002 logsu 1;  
  
media= (a) * ((1 - Exp((c - dlact) / b) / 2) * Exp(-d * dlact));  
  
model ltsleche ~ normal (media,exp(2*logsu));  
  
run;
```

Valores iniciales

```
parms a 34.7406 b 27.2102 c 1.6050 d 0.001037 logsu 2.0933 logs 1.6279;
```

ANEXO 2

Salidas modelo bioeconómico

Tabla 1. Costos e ingresos por rodeo y por vaca para cada sistema productivo.

Total de costos e ingresos						
Sistema Productivo	Unidad	ISCA ¹	Descarte	Reproducción	Terneros	Ingreso Neto
	\$/rodeo/mes	12.554,84	-2.734,26	-91,97	384,25	10.112,86
Estabulado	\$/rodeo/día	418,49	-91,14	-3,07	12,81	337,10
	\$/vaca/año	1.527,51	-332,67	-11,19	46,75	1.230,40
Encierre	\$/rodeo/mes	11.104,03	-1.778,99	-65,22	436,49	9.696,31
	\$/rodeo/día	370,13	-59,30	-2,17	14,55	323,21
	\$/vaca/año	1.350,99	-216,44	-7,94	53,11	1.179,72
Pastoril	\$/rodeo/mes	12.210,32	-1.624,40	-50,81	427,98	10.963,09
	\$/rodeo/día	407,01	-54,15	-1,69	14,27	365,44
	\$/vaca/año	1.485,59	-197,64	-6,18	52,07	1.333,84

¹Ingresos sobre costo de alimentación.

Tabla 2. Costos e ingresos por rodeo y por vaca para cada sistema productivo contemplando lactancias que presentaron al menos un evento sanitario (CES) y sin eventos sanitario (SES).

Total de costos e ingresos							
Sistema Productivo	Condición Sanitaria	Unidad	ISCA ¹	Descarte	Reproducción	Terneros	Ingreso Neto
		\$/rodeo/mes	12.266,79	-2.933,52	-98,43	344,12	9.578,97
Estabulado	CES	\$/rodeo/día	408,89	-97,78	-3,28	11,47	319,30
		\$/vaca/año	1.492,46	-356,91	-11,98	41,87	1.165,44
		\$/rodeo/mes	13.505,95	-1.865,65	-78,6	469,98	12.031,67
Encierre	SES	\$/rodeo/día	450,20	-62,19	-2,62	15,67	401,06
		\$/vaca/año	1.643,22	-226,99	-9,56	57,18	1.463,85
		\$/rodeo/mes	11.513,23	-1.578,56	-70,12	397,79	10.262,34
Pastoril	CES	\$/rodeo/día	383,77	-52,62	-2,34	13,26	342,08
		\$/vaca/año	1.400,78	-192,06	-8,53	48,40	1.245,58
		\$/rodeo/mes	10.672,44	-1.620,79	-60,40	479,36	9.470,62
Pastoril	SES	\$/rodeo/día	355,75	-54,03	-2,01	15,98	315,69
		\$/vaca/año	1.298,48	-197,20	-7,35	58,32	1.152,26
		\$/rodeo/mes	12.039,01	-1.413,81	-53,04	405,40	10.977,56
Pastoril	CES	\$/rodeo/día	401,30	-47,13	-1,77	13,51	365,92
		\$/vaca/año	1.464,75	-172,01	-6,45	49,32	1.335,60
		\$/rodeo/mes	12.497,95	-1.658,88	-47,31	461,55	11.253,30
Pastoril	SES	\$/rodeo/día	416,60	-55,30	-1,58	15,38	375,11
		\$/vaca/año	1.520,58	-201,83	-5,76	56,16	1.369,15

¹Ingresos sobre costo de alimentación.

Tablas de vida estimadas

Tabla 3. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo estabulado.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado	1	2,50	2,28	1,40	1,30	0,77
	2	6,14	8,05	7,33	7,31	6,37
	3	28,4	24,4	21,8	18,9	17,1
	4	4	0	9	8	6
	4	24,7	23,9	21,0	18,8	16,6
	5	7	4	8	3	3
	5	20,5	19,7	19,4	20,3	19,3
	6	2	7	9	9	8
	6	20,1	20,2	19,2	20,3	18,0
	7	9	6	8	2	2
	7	17,0	17,4	16,5	17,3	16,3
	8	6	7	5	2	5
	8	15,1	15,2	15,3	16,3	12,8
	9	9	7	1	2	2
	9	14,1	11,9	14,4	14,4	12,2
	10	0	9	9	8	9
10	12,2	13,0	12,7	13,7	14,1	
11	4	8	5	9	8	
11	9,91	10,4	10,2	13,5	17,6	
12	5	0	6	6	8	
12	9,06	9,60	9,66	10,4	14,7	
13	2	8	2	8	3	
13	9,86	10,4	6,33	9,70	10,5	
14	7,32	10,0	11,0	5,29	13,0	
15	0	2	2	8	8	
15	7,33	9,12	10,0	4,44	5,63	
16	9	3	0	0	0	
16	7,29	7,22	10,3	8,16	16,0	
			3		0	

Tabla 4. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo encierre.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Encierre	1	3,11	1,92	1,68	1,11	0,62
	2	15,9	13,5	12,1	9,28	7,41
	3	29,5	23,8	21,0	19,2	14,4
	4	25,7	21,7	20,8	18,5	13,6
	5	23,2	22,7	18,7	15,6	13,7
	6	22,3	20,4	18,8	14,2	11,6
	7	19,2	19,6	17,9	15,0	11,4
	8	17,6	17,9	17,0	13,5	10,6
	9	16,1	15,3	13,2	12,4	7,77
	10	15,1	13,8	15,0	10,3	6,28
	11	16,3	11,2	12,4	9,03	6,46
	12	14,2	11,0	6,21	8,96	5,71
	13	12,8	9,76	9,44	2,34	1,84
	14	12,0	7,86	4,15	4,03	2,60
	15	6,05	6,16	6,67	4,65	2,60
	16	8,44	3,58	7,73	3,57	4,08

Tabla 5. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo pastoril.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5

	1	2,37	1,73	1,47	1,00	0,73
	2	12,4	9,32	7,88	7,02	4,83
	3	26,9	22,5	19,9	18,2	12,3
	4	24,5	20,7	20,1	14,2	11,8
	5	19,8	21,2	21,5	14,3	13,9
	6	20,8	20,7	17,8	19,4	12,4
	7	18,7	20,0	15,7	20,1	12,3
	8	15,8	16,9	13,5	11,6	13,7
Pastoril	9	16,6	21,5	15,2	12,2	9,87
	10	12,7	18,1	11,4	15,1	10,7
	11	13,9	15,4	11,1	10,8	8,97
	12	8,70	19,9	10,6	17,6	11,7
	13	15,0	13,5	17,4	22,4	6,25
	14	9,72	16,2	8,70	14,4	8,08
	15	8,60	9,64	14,2	12,0	10,9
	16	15,0	10,1	20,6	15,7	7,84
		4	7	9	9	

LACTANCIAS SEGÚN EVENTOS SANITARIOS

Tabla 6. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo estabulado.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	1,48	1,30	0,73	0,53	0,41
	2	4,10	5,88	5,74	5,51	4,85
	3	24,7	21,0	18,7	17,0	15,6
	4	21,5	20,4	18,9	16,9	15,3
	5	17,9	17,4	17,3	17,5	18,0
Estabulado CES	6	18,0	18,4	18,4	18,4	16,8
	7	15,2	16,4	15,6	14,7	14,6
	8	14,3	14,5	13,6	14,1	12,5
	9	13,2	11,0	13,5	14,6	12,8
	10	11,8	11,6	12,3	12,3	14,8
		9	4	9	1	0

	11	9,50	10,2	9,36	13,5	17,5
			1		2	1
	12	9,44	9,70	9,34	10,3	15,1
					0	5
	13	9,43	10,1	6,52	11,1	11,8
			7		1	5
	14	7,48	10,1	9,91	4,88	12,7
			4			7
	15	8,17	10,5	9,46	5,00	3,28
			9			
	16	7,48	7,16	10,7	8,99	13,9
				8		5
	1	4,41	4,00	2,96	3,11	1,65
	2	10,1	12,1	11,1	11,9	10,5
		5	3	9	7	3
	3	36,1	31,1	29,9	24,3	21,5
		8	1	0	3	0
	4	32,6	32,0	27,4	24,5	20,6
		4	5	7	0	8
	5	27,9	25,9	26,5	29,7	23,9
		5	9	5	3	2
	6	27,1	25,6	22,3	27,4	22,5
		2	5	6	9	1
	7	23,8	20,7	20,1	28,0	22,8
		4	6	2	1	8
	8	18,6	17,7	21,8	26,3	14,1
		9	3	5	2	3
Estabulado SES	9	17,8	15,4	18,5	13,4	10,0
		5	7	5	0	7
	10	13,8	18,7	14,5	21,5	11,6
		9	4	7	8	5
	11	11,9	11,5	14,6	13,7	18,4
		0	4	6	9	6
	12	7,05	9,09	11,5	11,1	12,5
				9	1	0
	13	12,1	11,7	4,94	0,00	0,00
		2	1			
	14	6,40	9,27	20,8	8,00	15,3
				3		8
	15	2,33	1,92	19,0	0,00	20,0
				5		0
	16	6,20	7,50	0,00	0,00	28,5
						7

Tabla 7. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo encierre.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	2,58	1,06	1,15	0,78	0,47
	2	11,2	10,0	9,58	7,13	5,20
		6	6			
Encierre CES	3	24,6	20,1	18,7	17,4	12,7
		4	3	6	5	0
	4	23,2	19,3	18,7	15,5	12,3
		5	2	3	9	0
	5	20,3	19,9	16,6	13,8	13,2
		6	7	4	9	1

	6	20,3	17,7	17,0	13,4	10,8
		6	6	8	3	3
	7	16,9	19,2	16,4	14,5	9,53
		9	1	6	1	
	8	15,1	17,4	16,0	12,4	10,6
		3	3	6	2	4
	9	14,0	14,0	12,7	12,3	7,54
		9	4	3	2	
	10	14,6	12,2	15,5	7,97	5,93
		0	5	4		
	11	15,8	10,7	10,9	8,54	7,37
		8	0	5		
	12	13,5	11,3	4,63	9,55	4,49
		9	5			
	13	12,9	10,8	10,0	1,52	2,62
		1	6	0		
	14	9,98	7,67	3,96	5,03	2,42
	15	6,09	6,06	5,53	5,59	3,45
	16	8,45	4,02	8,11	2,11	5,06
	1	3,52	2,76	2,32	1,56	0,84
	2	19,5	17,2	15,5	12,5	10,9
		6	6	2	5	6
	3	33,7	28,0	24,3	22,3	17,4
		3	5	7	2	3
	4	28,1	24,8	24,0	23,7	16,1
		3	5	4	8	1
	5	26,2	26,7	22,4	19,1	14,9
		8	0	4	5	0
	6	24,6	24,6	22,2	16,1	13,3
		9	9	4	2	5
	7	21,9	20,3	21,0	16,2	15,5
		6	6	2	7	6
	8	20,9	18,7	19,4	16,4	10,5
		2	8	0	5	8
Encierre SES	9	19,1	17,8	14,4	12,6	8,30
		3	1	0	8	
	10	16,0	16,8	13,8	16,5	7,05
		2	7	7	1	
	11	16,9	12,4	16,0	10,4	4,42
		8	5	6	6	
	12	15,2	10,5	10,5	7,08	8,39
		9	3	3		
	13	12,7	7,43	7,63	5,06	0,00
		0				
	14	15,6	8,25	4,82	0,00	3,03
		7				
	15	5,95	6,40	11,3	0,00	0,00
				2		
	16	8,40	2,50	6,06	11,7	0,00
					6	

Tabla 8. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de preñez para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo pastoril.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	1,44	0,83	1,02	0,58	0,64
	2	11,6	8,29	7,43	5,71	4,60
	3	24,2	18,3	18,9	14,6	10,8
	4	20,5	18,0	18,3	13,2	11,1
	5	17,3	19,2	22,1	14,9	15,1
	6	19,3	21,5	16,4	20,7	11,7
	7	17,9	21,6	14,9	17,4	12,6
	8	16,2	16,8	12,3	10,7	14,1
Pastoril CES	9	13,9	22,1	15,5	14,3	10,9
	10	13,4	16,5	11,1	12,9	12,7
	11	13,6	15,6	13,4	10,2	8,75
	12	10,3	12,6	11,3	18,5	11,6
	13	12,3	14,0	18,0	26,6	4,55
	14	10,7	18,9	12,0	14,2	8,82
	15	7,27	8,89	16,9	13,3	8,33
	16	10,0	6,06	20,0	18,1	5,71
	1	3,28	2,99	2,46	1,94	0,98
	2	13,3	10,8	8,94	10,2	5,50
	3	29,6	29,1	22,2	27,8	16,7
	4	29,1	25,6	24,7	17,6	14,2
	5	23,0	25,3	19,9	12,1	10,0
	6	22,8	18,9	21,5	14,9	14,8
	7	19,8	16,3	18,1	27,9	11,1
Pastoril SES	8	15,2	17,2	16,9	14,2	12,1
	9	20,7	20,4	14,4	5,19	6,52
	10	11,5	20,9	12,2	21,2	5,19
	11	14,4	15,1	5,00	12,7	9,52
	12	6,17	31,0	8,96	15,3	11,7
	13	18,7	12,7	16,0	12,5	10,0
	14	8,16	12,2	0,00	14,8	6,45

	15	10,5	10,5	8,00	10,0	16,0
		3	3		0	0
	16	22,6	15,3	22,2	12,5	12,5
		4	8	2	0	0

ABORTOS

Tabla 9. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de aborto para cada intervalo de tiempo (meses de gestación) para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril.

Sistema Productivo	Mes de gestación	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado	1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
		2	1	4	3	6
	2	1,7	2,2	2,3	2,9	3,1
		3	8	9	4	8
	3	2,7	3,2	3,3	3,5	4,6
		3	9	0	6	7
	4	1,7	1,7	1,9	1,9	2,2
		5	2	3	8	6
	5	2,2	2,1	1,8	2,3	2,4
		7	4	7	0	0
	6	2,5	2,2	1,9	2,1	1,4
		0	9	7	1	3
Encierre	7	2,9	2,3	2,6	2,3	2,2
		5	8	4	9	9
	8	4,1	3,8	4,7	5,1	4,9
		6	1	3	2	3
	9	2,5	1,8	0,0	0,0	0,0
		0	9	0	0	0
	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2	5	0	5	7
	2	1,2	2,1	1,9	2,2	4,7
		8	2	4	6	3
	3	1,7	2,3	3,1	2,9	4,7
		3	8	7	7	5
Pastoril	4	1,0	1,2	1,8	2,2	2,6
		8	8	0	2	0
	5	1,5	1,5	2,0	1,9	2,4
		1	5	8	1	4
	6	1,0	1,2	1,1	1,5	1,4
		7	6	3	6	9
	7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,6
		9	4	3	4	1
	8	2,2	3,0	4,3	2,6	6,0
		0	7	5	8	0
	9	4,1	1,1	0,0	2,8	6,2
		8	4	0	6	5

2	1,8 7	1,4 4	1,8 3	1,9 4	3,1 0
3	0,9 2	2,3 1	2,6 6	1,7 5	2,5 2
4	1,0 7	1,9 3	1,9 6	2,3 3	1,7 4
5	1,4 4	1,6 0	1,2 4	1,1 5	2,4 0
6	1,7 4	2,0 4	1,8 5	0,9 9	2,3 1
7	1,2 9	1,3 3	1,1 5	1,6 3	2,2 4
8	3,3 4	2,4 7	2,2 7	4,8 0	2,5 7
9	4,3 5	0,0 0	0,0 0	7,1 4	0,0 0

SEGÚN EVENTOS SANITARIOS

CON EVENTOS SANITARIOS (CES)

Tabla 10. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de aborto para cada intervalo de tiempo (meses de gestación) para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril.

Sistema Productivo	Mes de gestación	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado CES	1	0,0 2	0,0 2	0,0 4	0,18 3,56	0,0 3,7
	2	2,0 5	2,8 5	2,8 1	3,56 4,39	3,7 5,3
	3	3,3 7	4,0 8	3,6 9	4,39 2,52	5,3 2,3
	4	2,3 1	2,2 7	2,3 4	2,52 2,80	2,3 2,8
	5	2,8 8	2,6 5	2,2 9	2,80 2,87	2,8 1,6
	6	3,1 9	2,9 7	2,4 5	2,87 3,18	1,6 0
	7	3,9 4	2,9 7	3,3 5	3,18 5,21	2,5 6,1
	8	4,9 4	4,7 4	5,5 5	5,21 0,00	6,1 0,0
	9	2,5 0	1,6 4	0,0 0	0,00 0	0,0 0

Encierre CES	1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,1
		2	3	0		2
	2	1,8	2,9	2,5	3,08	5,3
		2	2	6		2
	3	2,2	3,0	4,0	4,19	6,1
		1	8	2		9
	4	1,5	1,7	2,5	2,88	3,2
		2	6	1		5
	5	2,1	1,8	2,5	2,17	2,6
	9	9	5		9	
	6	1,4	1,7	1,5	2,10	2,1
		9	2	5		7
	7	1,4	1,6	1,5	1,58	0,8
		7	8	9		2
	8	2,9	3,5	5,7	3,79	6,6
		5	9	8		9
	9	6,7	2,1	0,0	5,13	0,0
		8	7	0		0
Pastoril CES	1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
		9	0	0		0
	2	2,2	1,5	1,9	2,75	3,0
		0	9	5		2
	3	1,3	2,6	3,2	2,51	2,7
		1	2	5		1
	4	1,2	2,5	2,3	3,11	1,6
		8	1	9		4
	5	2,0	2,0	1,4	1,38	3,2
	1	8	9		0	
	6	2,7	2,9	2,1	1,51	1,9
		1	7	9		4
	7	2,0	1,8	1,0	2,48	2,5
		3	8	9		8
	8	4,4	3,1	1,7	5,76	1,7
		6	5	2		5
	9	4,4	0,0	0,0	12,5	0,0
		4	0	0	0	0

SIN EVENTOS SANTIARIOS (SES)

Tabla 11. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de aborto para cada intervalo de tiempo (meses de gestación) para los sistemas productivos de tipo estabulado, encierre y pastoril.

Sistema Productivo	Mes de gestación	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado SES	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
		0	0	4	0	
	2	1,1	1,2	1,4	1,5	1,66
		3	6	6	3	
	3	1,5	1,9	2,4	1,7	2,93
		4	1	5	1	
	4	0,7	0,8	1,0	0,8	2,07
		2	0	7	0	

	5	1,2 1	1,3 1	1,0 2	1,2 7	1,28
	6	1,3 4	1,2 1	1,0 3	0,6 1	1,06
	7	1,3 2	1,4 8	1,3 1	0,8 9	1,67
	8	2,9 2	2,3 8	3,2 1	4,9 5	2,48
	9	2,5 2	2,4 5	0,0 0	0,0 0	0,00
	1	0,0 2	0,0 8	0,0 0	0,1 3	0,00
	2	0,8 5	1,3 1	1,1 6	1,0 6	3,85
	3	1,3 5	1,6 8	2,1 2	1,2 6	2,62
	4	0,7 4	0,8 1	0,9 4	1,3 3	1,69
Encierre SES	5	1,0 0	1,2 3	1,5 3	1,5 7	2,09
	6	0,7 7	0,8 4	0,6 4	0,8 6	0,58
	7	0,6 4	0,6 4	1,2 6	0,8 1	0,35
	8	1,6 3	2,5 8	2,6 0	1,2 9	5,17
	9	1,6 5	0,0 0	0,0 0	0,0 0	13,3 3
	1	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,00
	2	1,5 2	1,2 2	1,5 6	0,0 0	3,35
	3	0,5 2	1,8 3	1,3 6	0,0 0	1,90
	4	0,8 6	1,0 6	1,0 7	0,6 7	2,03
Pastoril SES	5	0,8 8	0,9 2	0,7 5	0,6 9	0,00
	6	0,8 0	0,7 8	1,1 8	0,0 0	3,39
	7	0,5 9	0,6 2	1,2 8	0,0 0	1,25
	8	2,3 0	1,6 1	3,3 1	3,0 3	4,88
	9	4,2 6	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,00

DESCARTE

Tabla 12. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo estabulado.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado	1	5,03	5,17	6,64	8,67	10,37
	2	2,72	2,40	3,38	3,83	5,75
	3	2,03	2,33	2,47	2,68	4,48
	4	1,64	2,09	2,54	3,45	4,46
	5	1,41	1,99	2,49	3,37	3,88
	6	1,21	1,74	2,63	3,43	4,04
	7	1,22	2,09	2,84	3,36	4,26
	8	1,25	1,95	2,87	2,73	4,36
	9	1,48	2,34	3,02	3,62	3,72
	10	2,01	3,10	3,36	3,70	4,44
	11	2,47	3,59	4,39	4,74	5,64
	12	3,06	4,64	5,42	4,79	8,63
	13	4,00	6,19	6,74	8,35	7,23
	14	5,30	8,51	8,91	9,36	11,15
	15	8,03	10,92	11,15	10,08	11,90
	16	10,99	12,36	12,88	12,92	12,29
	17	12,56	17,00	16,85	17,61	11,71
	18	19,21	17,18	22,34	13,62	18,54
	19	20,31	17,57	21,19	23,46	16,33
	20	19,82	18,84	25,78	21,15	14,71
	21	19,95	18,09	19,11	16,22	16,33
	22	20,28	29,18	24,56	21,05	16,22
	23	19,38	22,73	18,42	25,00	13,79
	24	22,41	36,07	18,52	28,57	43,48
	25	21,14	28,17	20,51	0,00	33,33

Tabla 13. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo encierre.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	1,90	2,77	4,53	5,44	6,66
	2	1,58	1,88	2,85	4,21	3,94
	3	1,27	1,34	2,35	2,28	3,54
	4	1,23	1,57	1,62	2,77	4,04
	5	1,03	1,71	2,10	1,95	3,74
	6	0,94	1,67	1,95	2,76	4,24
	7	0,74	1,76	2,26	2,68	4,18
	8	0,75	1,41	1,58	2,54	3,93
	9	0,86	1,41	1,75	2,19	5,16
	10	1,05	1,69	1,73	3,09	3,62
	11	1,15	2,04	2,78	3,45	5,03
	12	1,58	2,82	2,69	4,14	7,61
	13	2,58	4,11	5,31	7,23	10,9
	14	3,72	5,46	7,13	8,21	12,7
Encierre	15	3,78	8,96	8,08	10,8	17,0
	16	4,96	10,4	9,55	15,0	12,8
	17	7,15	10,7	12,7	17,1	20,0
	18	6,45	13,7	13,6	12,7	13,8
	19	8,56	11,7	13,6	21,6	21,1
	20	10,1	8,43	13,3	17,2	23,5
	21	6,92	17,6	7,81	17,2	8,89
	22	11,8	14,0	9,71	23,8	31,5
	23	7,65	6,52	18,8	7,41	7,69
	24	17,8	14,0	20,0	19,0	17,3
	25	17,3	11,3	15,3	12,5	0,00
			1	2	8	0

Tabla 14. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo pastoril.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	0,98	1,68	2,67	3,82	3,28
	2	0,83	1,49	2,07	2,19	4,14
	3	0,65	1,24	1,26	1,96	2,11
	4	0,50	0,89	2,02	2,19	2,94
	5	0,65	1,28	1,25	2,45	2,27
	6	0,93	0,93	2,02	1,24	3,10
	7	0,39	0,65	2,15	1,75	2,32
	8	0,71	1,06	1,59	1,55	2,33
	9	0,83	1,41	1,50	2,31	1,84
	10	1,25	1,72	2,07	2,09	3,06
	11	1,41	1,29	2,17	2,18	4,77
	12	1,40	1,61	3,02	2,84	3,61
	13	1,73	2,17	2,24	3,25	3,14
Pastoril	14	2,51	3,45	4,17	4,24	4,60
	15	4,43	7,10	4,62	4,36	9,68
	16	5,18	6,60	9,59	4,08	8,97
	17	7,14	6,04	9,43	1,40	17,7
	18	6,39	13,4	7,59	8,93	11,6
	19	10,1	4,35	10,2	5,06	10,9
	20	5,75	3,74	12,0	3,39	7,84
	21	6,99	6,98	4,00	4,26	5,13
	22	12,1	5,71	11,7	6,06	12,9
	23	11,4	26,6	7,69	9,09	17,3
	24	31,2	19,5	11,7	22,2	14,2
	25	5,71	14,2	0,00	14,2	0,00

SEGÚN EVENTOS SANITARIOS

CON EVENTOS SANITARIOS (CES)

Tabla 15. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo estabulado.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado CES	1	5,45	4,40	6,04	7,12	7,58
	2	3,18	2,46	3,40	3,74	5,38
	3	2,45	2,26	2,45	2,55	4,50
	4	1,90	2,48	2,85	3,77	4,57
	5	1,65	2,39	2,90	3,98	3,86
	6	1,40	2,12	2,90	3,69	4,52
	7	1,41	2,44	3,18	3,93	4,90
	8	1,50	2,35	3,20	2,94	4,76
	9	1,86	2,71	3,41	4,17	4,40
	10	2,32	3,55	4,02	4,34	4,50
	11	2,68	4,03	4,77	5,40	5,73
	12	3,38	4,88	5,97	5,38	8,74
	13	4,21	6,59	6,86	9,88	7,18
	14	5,54	8,92	9,17	10,0	11,3
	15	8,26	10,4	10,5	9,82	11,4
	16	10,6	11,9	13,3	12,9	11,7
	17	12,3	16,9	16,0	17,0	12,9
		2	7	5	5	0

18	19,7 5	17,0 3	20,8 5	12,8 7	17,7 8
19	20,6 9	17,1 7	20,7 5	25,7 1	17,7 8
20	19,3 6	19,2 2	26,5 0	18,6 0	16,1 3
21	19,9 6	18,2 9	19,5 8	12,9 0	18,6 0
22	19,3 4	29,5 7	21,5 7	20,0 0	12,9 0
23	20,3 3	23,9 4	20,0 0	27,7 8	15,3 8
24	23,4 4	33,3 3	16,6 7	25,0 0	47,6 2
25	24,4 8	31,0 3	17,1 4	0,00	40,0 0

Tabla 16. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo encierre.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
	1	1,74	1,72	2,55	2,82	3,68
	2	1,80	1,50	1,77	3,42	2,65
	3	1,27	1,15	2,07	1,95	2,84
	4	1,18	1,10	1,14	2,15	3,80
	5	1,12	1,60	1,73	2,08	3,40
	6	0,84	1,53	1,77	2,25	4,70
	7	0,73	2,01	2,69	2,43	4,31
	8	0,80	1,74	1,63	2,99	3,90
	9	0,82	1,82	2,18	2,21	6,09
	10	1,16	2,05	1,81	3,11	3,70
Encierre CES	11	1,18	2,35	3,15	3,14	5,16
	12	1,53	3,00	2,67	4,03	8,20
	13	2,97	4,28	5,22	7,21	10,9 7
	14	3,29	5,49	7,18	7,61	11,7 4
	15	2,93	8,80	8,41	10,2	13,6 1
	16	5,01	10,3 9	10,4 3	18,4 6	10,4 3
	17	6,98	11,4 8	12,2 5	19,0 5	23,5 3
	18	6,66	12,1 2	13,8 9	10,2 9	14,0 4
	19	8,05	13,2 9	11,6 5	19,6 1	18,8 2

20	12,0 3	9,14	13,2 5	19,4 4	23,3 3
21	8,03	15,3 8	9,43	16,0 0	9,76
22	11,8 3	16,1 6	11,7 6	22,2 2	23,5 3
23	8,89	8,45	17,1 4	8,70	7,69
24	19,0 5	14,5 5	23,5 3	11,7 6	17,3 9
25	16,2 2	13,9 5	12,1 2	14,2 9	0,00

Tabla 17. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo pastoril.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Pastoril CES	1	0,59	0,82	1,60	2,43	2,10
	2	0,89	1,35	2,15	1,99	3,23
	3	0,78	1,18	1,32	1,45	2,05
	4	0,60	0,85	2,27	2,02	2,93
	5	1,02	1,20	1,46	2,67	1,97
	6	0,90	0,76	2,42	0,95	3,32
	7	0,42	0,70	2,00	2,22	2,82
	8	0,52	1,45	1,89	1,74	2,63
	9	0,90	1,93	1,35	2,56	2,39
	10	0,95	2,69	2,66	2,92	2,98
	11	1,81	1,45	2,50	2,97	4,57
	12	1,98	1,69	3,71	3,79	3,81
	13	2,75	3,25	2,77	4,41	2,97
	14	3,04	3,79	3,73	5,93	3,87
	15	4,66	8,82	2,11	3,08	10,6 1
	16	4,88	7,30	9,82	5,52	9,20

17	8,30	7,18	10,9 1	1,89	20,0 0
18	6,63	13,24	9,84	9,64	13,7 0
19	11,68	6,52	13,4 8	6,67	8,16
20	5,94	5,48	13,1 1	4,44	5,71
21	6,82	6,67	5,71	5,88	0,00
22	13,51	8,33	18,1 8	8,33	18,1 8
23	13,79	35,00	14,2 9	11,7 6	26,6 7
24	39,13	23,08	0,00	28,5 7	22,2 2
25	0,00	11,11	0,00	20,0 0	0,00

SIN EVENTOS SANTIARIOS (SES)

Tabla 18. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo estabulado.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Estabulado SES	1	4,22	6,55	8,03	12,2 8	17,0 7
	2	1,80	2,29	3,36	4,08	6,79
	3	1,18	2,45	2,52	3,03	4,43
	4	1,10	1,30	1,77	2,61	4,12
	5	0,91	1,20	1,46	1,73	3,92
	6	0,81	0,99	1,94	2,72	2,57
	7	0,83	1,42	2,01	1,87	2,35
	8	0,75	1,16	2,09	2,20	3,20
	9	0,72	1,61	2,06	2,25	1,75

10	1,37	2,19	1,68	2,05	4,26
11	1,96	2,57	3,31	2,94	5,35
12	2,15	3,99	3,66	3,12	8,19
13	3,31	4,96	6,30	3,49	7,45
14	4,43	7,11	7,89	6,69	10,17
15	7,04	12,52	13,56	11,19	14,29
16	12,39	14,17	10,38	12,66	16,22
17	13,74	17,13	21,54	21,28	0,00
18	16,39	17,91	32,88	18,18	25,00
19	18,32	19,70	25,00	9,09	0,00
20	22,14	16,84	18,18	33,33	0,00
21	19,90	17,14	14,29	33,33	0,00
22	25,00	27,45	50,00	28,57	33,33
23	14,14	17,65	0,00	0,00	0,00
24	17,28	46,15	33,33	50,00	0,00
25	6,25	15,38	50,00	0,00	0,00

Tabla 19. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo encierre.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Encierre SES	1	1,90	2,77	4,53	5,44	6,66
	2	1,58	1,88	2,85	4,21	3,94
	3	1,27	1,34	2,35	2,28	3,54
	4	1,23	1,57	1,62	2,77	4,04
	5	1,03	1,71	2,10	1,95	3,74
	6	0,94	1,67	1,95	2,76	4,24
	7	0,74	1,76	2,26	2,68	4,18
	8	0,75	1,41	1,58	2,54	3,93

9	0,86	1,41	1,75	2,19	5.16
10	1,05	1,69	1,73	3.09	3.62
11	1,15	2,04	2,78	3.45	5.03
12	1,58	2,82	2,69	4.14	7.61
13	2,58	4,11	5,31	7.23	10.9
14	3,72	5,46	7,13	8.21	12.7
15	3,78	8,96	8,08	10.8	17.0
16	4,96	10,4	9,55	15.0	12.8
17	7,15	10,7	12,7	17.1	20.0
18	6,45	13,7	13,6	12.7	13.8
19	8,56	11,7	13,6	21.6	21.1
20	10,1	8,43	13,3	17.2	23.5
21	6,92	17,6	7,81	17.2	8.89
22	11,8	14,0	9,71	23.8	31.5
23	7,65	6,52	18,8	7.41	7.69
24	17,8	14,0	20,0	19.0	17.3
25	17,3	11,3	15,3	12.5	0.00

Tabla 20. Estimación de la probabilidad condicional en porcentaje de descarte para cada período de tiempo (30 días) para el sistema productivo de tipo pastoril.

Sistema Productivo	Períodos de 30 días	Número de lactancia				
		1	2	3	4	5
Pastoril SES	1	1,36	2,87	4,99	6,8	6,26
	2	0,77	1,70	1,90	2,6	6,81

3	0,51	1,35	1,11	3,26	2,28
4	0,39	0,96	1,42	2,63	2,97
5	0,25	1,41	0,75	1,87	3,22
6	0,96	1,22	1,05	1,99	2,35
7	0,36	0,56	2,49	0,52	0,63
8	0,91	0,43	0,88	1,08	1,35
9	0,75	0,60	1,85	1,70	0,00
10	1,56	0,18	0,72	0,00	3,33
11	0,95	1,01	1,42	0,00	5,49
12	0,68	1,44	1,36	0,00	2,86
13	0,32	0,00	0,96	0,00	3,81
14	1,74	2,78	5,23	0,00	7,41
15	4,11	3,77	11,43	7,50	6,15
16	5,58	5,33	8,82	0,00	8,16
17	5,59	3,88	4,26	0,00	10,53
18	6,06	13,89	0,00	6,90	6,67
19	8,08	0,00	0,00	0,00	16,67
20	5,48	0,00	9,09	0,00	12,50
21	7,27	7,69	0,00	0,00	16,67
22	9,76	0,00	0,00	0,00	0,00
23	6,90	10,00	0,00	0,00	0,00
24	11,11	13,33	20,00	0,00	0,00
25	16,67	20,00	0,00	0,00	0,00

PARAMETROS DE LA CURVA

Tabla 21. Estimaciones de parámetros de curvas de lactancia como modelo mixto con efecto aleatorio asociado al parámetro a .

	Parámetr	Numero de lactancia				
	o	1	2	3	4	5
Estabulado	a	37,71	51,78	56,36	55,68	55,67
		2	2	8	1	7
	b	23,58	20,12	23,07	21,93	25,40
		9	9	9	6	5
	c	6,307	7,214	7,632	7,046	7,869
Encierre	d	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003
	a	32,96	41,99	45,08	45,10	42,39
		8	5	6	1	2
	b	29,51	20,08	19,48	20,27	20,94
		5	5	7	2	1
Pastoril	c	-0,898	-0,302	0,377	0,886	0,167
	d	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
	a	32,88	40,35	40,79	40,19	39,45
		3	5	8	5	0
	b	28,52	22,68	17,57	17,14	20,38
	8	0	5	8	8	
	c	-2,824	0,588	1,150	0,011	1,343
	d	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002

SEGÚN EVENTOS SANITARIOS

CON EVENTOS SANITARIOS (CES)

Tabla 22. Estimaciones de parámetros de curvas de lactancia como modelo mixto con efecto aleatorio asociado al parámetro a .

	Parámetr	Numero de lactancia				
	o	1	2	3	4	5
Estabulado CES	a	37,45	51,12	55,11	54,02	54,09
		4	5	0	1	6

	<i>b</i>	24,53	20,88	23,29	20,82	25,38
		4	0	2	8	7
	<i>c</i>	6,645	7,146	7,426	6,619	7,694
	<i>d</i>	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002
	<i>a</i>	33,96	42,70	45,47	45,86	42,95
		1	5	6	3	6
Encierre CES	<i>b</i>	29,96	18,82	18,19	19,52	19,64
		3	4	7	3	0
	<i>c</i>	0,292	0,282	1,233	1,745	1,271
	<i>d</i>	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
	<i>a</i>	32,54	39,60	39,91	39,84	39,48
		7	5	7	1	0
Pastoril CES	<i>b</i>	26,56	20,94	16,55	15,68	19,57
		3	6	3	9	1
	<i>c</i>	-2,707	0,964	1,288	0,901	3,017
	<i>d</i>	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002

SIN EVENTOS SANTIARIOS (SES)

Tabla 23, Estimaciones de parámetros de curvas de lactancia como modelo mixto con efecto aleatorio asociado al parámetro *a*,

	Parámetr	Numero de lactancia				
		o	1	2	3	4
	<i>a</i>	38,16	53,07	59,91	61,69	61,35
		1	2	1	2	9
Estabulado SES	<i>b</i>	20,80	18,05	22,12	26,76	25,40
		2	2	9	0	2
	<i>c</i>	5,635	7,361	8,186	8,555	8,419
	<i>d</i>	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003
	<i>a</i>	32,17	41,50	45,04	44,34	41,89
		5	8	9	7	3
Encierre SES	<i>b</i>	29,37	22,51	23,15	23,39	25,42
		9	1	8	8	9
	<i>c</i>	-2,177	-1,220	-1,428	-1,515	-2,778
	<i>d</i>	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
	<i>a</i>	33,16	41,61	42,85	41,16	39,17
		1	0	1	2	3
Pastoril SES	<i>b</i>	29,90	25,71	20,02	21,51	21,61
		7	0	4	9	2
	<i>c</i>	-2,730	-0,088	0,844	-3,010	-4,033

d	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
-----	-------	-------	-------	-------	-------

ANEXO 3

Formulario online para determinación de costos

El siguiente formulario tiene por objetivo poder recolectar información que permita estimar los costos veterinarios y de tratamiento para casos clínicos de algunas afecciones sanitarias en rodeos lecheros de Argentina,

Las preguntas se repiten para cada una de las enfermedades consideradas, Estas son: mastitis, hipocalcemia, enfermedades reproductivas, desplazamiento de abomaso y enfermedades metabólicas,

Caso clínico de Mastitis

Ante un caso clínico mastitis en un tambo, llaman a un veterinario para su tratamiento in situ, o directamente es tratado por los empleados del establecimiento,

- Tratado por empleado del establecimiento bajo indicaciones del veterinario
- Tratado por el veterinario
- Tratado por empleado del establecimiento sin consultar al veterinario

En función de la respuesta anterior: ¿Cuánto tiempo promedio se dedica en tratar un caso clínico de mastitis? (Expresado en minutos)

- 5
- 10
- 15

¿Cuál es el costo del tratamiento clínico de mastitis más frecuentemente utilizado?

Contemplando medicamentos, descartable, otros, (Expresado en pesos argentinos \$)

- 0
- 300
- 600
- 900
- 1200
- 1500
- Otro:

En promedio, bajo un tratamiento de mastitis, cuántos días se debería descartar la producción de leche, (Si lo hubiera)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Otro:

Caso clínico de Hipocalcemia

Ante un caso clínico de hipocalcemia en un tambo, llaman a un veterinario para su tratamiento in situ, o directamente es tratado por los empleados del establecimiento,

- Tratado por empleado del establecimiento bajo indicaciones del veterinario
- Tratado por el veterinario
- Tratado por empleado del establecimiento sin consultar al veterinario

En función de la respuesta anterior: ¿Cuánto tiempo promedio se dedica en tratar un caso clínico de hipocalcemia? (Expresado en minutos)

- 15
- 30
- 60

¿Cuál es el costo del tratamiento clínico de hipocalcemia más frecuentemente utilizado?

Contemplando medicamentos, descartable, otros, (Expresado en pesos argentinos \$)

- 0
- 300
- 600
- 900
- 1200
- 1500

En promedio, bajo un tratamiento de hipocalcemia, cuantos días se debería descartar la producción de leche, (Si lo hubiera)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Otro:

Caso clínico de alguna enfermedad reproductiva (metritis, endometritis, retención placentaria),

Ante un caso clínico de alguna enfermedad reproductiva en un tambo, llaman a un veterinario para su tratamiento in situ, o directamente es tratado por los empleados del establecimiento,

- Tratado por empleado del establecimiento bajo indicaciones del veterinario
- Tratado por el veterinario
- Tratado por empleado del establecimiento sin consultar al veterinario

En función de la respuesta anterior: ¿Cuánto tiempo promedio se dedica en tratar un caso clínico una enfermedad reproductiva? (Expresado en minutos)

- 15
- 30
- 60

¿Cuál es el costo del tratamiento clínico de una enfermedad reproductiva mas frecuentemente utilizado? Contemplando medicamentos, descartable, otros, (Expresado en pesos argentinos \$)

- 0
- 300
- 600
- 900
- 1200
- 1500
- Otro:

En promedio, bajo un tratamiento de una enfermedad reproductiva, cuantos días se debería descartar la producción de leche, (Si lo hubiera)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Otro:

Caso clínico de desplazamiento de abomaso,

Ante un caso clínico de desplazamiento de abomaso en un tambo, llaman a un veterinario para su tratamiento in situ, o directamente es tratado por los empleados del establecimiento,

- Tratado por empleado del establecimiento bajo indicaciones del veterinario
- Tratado por el veterinario
- Tratado por empleado del establecimiento sin consultar al veterinario

En función de la respuesta anterior: ¿Cuánto tiempo promedio se dedica en tratar un caso clínico un desplazamiento de abomaso? (Expresado en minutos)

- 15
- 30
- 60
- Otro:

¿Cuál es el costo del tratamiento clínico de un desplazamiento de abomaso mas frecuentemente utilizado? Contemplando medicamentos, descartable, otros, (Expresado en pesos argentinos \$)

- 0
- 300
- 600
- 900
- 1200
- 1500
- Otro:

En promedio, bajo un tratamiento de un desplazamiento de abomaso, cuantos días se debería descartar la producción de leche, (Si lo hubiera)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Otro:

Caso clínico de alguna enfermedad metabólica (cetosis, hígado graso, acidosis, timpanismo),

Ante un caso clínico de alguna enfermedad metabólica en un tambo, llaman a un veterinario para su tratamiento in situ, o directamente es tratado por los empleados del establecimiento,

- Tratado por empleado del establecimiento bajo indicaciones del veterinario
- Tratado por el veterinario
- Tratado por empleado del establecimiento sin consultar al veterinario

En función de la respuesta anterior: ¿Cuánto tiempo promedio se dedica en tratar un caso clínico una enfermedad metabólica? (Expresado en minutos)

- 15
- 30
- 60

¿Cuál es el costo del tratamiento clínico de una enfermedad metabólica mas frecuentemente utilizado? Contemplando medicamentos, descartable, otros, (Expresado en pesos argentinos \$)

- 0
- 300
- 600
- 900
- 1200
- 1500
- Otro:

En promedio, bajo un tratamiento de una enfermedad metabólica, cuantos días se debería descartar la producción de leche, (Si lo hubiera)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Otro:

Tabla 1. Medidas resumen de las variables obtenidas a través del formulario online.

Variable	n	Media	CV	Min	Max	Mediana
mast tiempo	27	7,59	42,33	5,0	15,0	5,0
mast costo	26	1,161,54	79,51	300,0	5,000,0	900,0
mast tiro	26	4,62	30,07	2,0	7,0	5,0
hipo tiempo	27	36,11	46,45	15,0	60,0	30,0
hipo costo	26	1,557,69	49,70	600,0	3,600,0	1,500,0
hipo tiro	27	0,07	519,62	0,0	2,0	0,0
repro tiempo	27	22,78	64,24	15,0	60,0	15,0
repro costo	24	1,325,00	52,63	300,0	3,500,0	1,200,0

reproretiro	25	1,88	143,49	0,0	10,0	0,0
datiempo	23	60,00	30,15	30,0	120,0	60,0
dacosto	20	3,625,00	84,24	600,0	10,000,0	1,500,0
daretiro	24	2,38	133,04	0,0	10,0	0,0
metiempo	27	31,67	57,77	15,0	60,0	30,0
metcosto	25	1,752,00	59,11	600,0	5,000,0	1,500,0
metretiro	24	0,38	270,27	0,0	3,0	0,0