



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Tesis para acceder al título de Doctora en
Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria

Evaluaciones epidemiológico-económicas y modelado matemático de la mastitis
bovina y su control

Médica Veterinaria: Melina Richardet

DIRECTOR

Méd Vet MSc PhD Alejandro José Larriestra

CODIRECTORAS

Lic Mic Dra Cristina Inés Bogni

MSc Dra Shana de Mattos de Oliveira Coelho

Río Cuarto, Septiembre 2019



COMISIÓN ASESORA y JURADO

Nombre y Apellido.....Lugar de trabajo.....
Firma.....Aclaración.....

Nombre y Apellido.....Lugar de trabajo.....
Firma.....Aclaración.....

Nombre y Apellido.....Lugar de trabajo.....
Firma.....Aclaración.....

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y Fecha.....

Calificación.....



Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, a productores, tamberos y ayudantes alumnos de Medicina Veterinaria participantes en los diferentes estudios y a los integrantes de la Comisión de Mastitis de AProCal.

A los directores de mi tesis doctoral, PhD Alejandro Larriestra, Dra Cristina Bogni y Dra Shana de Mattos por su confianza, orientación y colaboración.

A los miembros del Comité Asesor, por sus correcciones y sugerencias.

A la Dra. Claudina Vissio por guiarme y aconsejarme durante todo este trayecto.

Al Dr. en Cs. Físicas Hernán Gustavo Solari por su invaluable asesoramiento, al Magister Daniel Agüero por su activa contribución y a la Licenciada en Ciencias de la Computación María de los Ángeles Lucero por sus aportes técnicos y su paciencia.

A mis compañeros de los Departamentos de Patología Animal y Salud Pública de la FAV y de Microbiología e Inmunología de la FCEFQyN de la UNRC por todos los momentos y aprendizajes compartidos.

Y principalmente, a toda mi familia por su apoyo incondicional.



Índice

	Páginas
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Lista de Abreviaturas	ix
Recursos financieros para la realización de la tesis	x
Resumen.....	1
Resumo.....	2
<i>Capítulo I: Introducción General</i>	<i>3</i>
Sector lechero.....	4
Definición de mastitis.	5
Patógenos asociados a la mastitis.....	6
Células somáticas en leche.....	7
Factores de riesgo.....	8
Métodos de detección de la mastitis.....	9
Monitoreo de la mastitis.....	10
Efectos de la mastitis.....	10
Producción de leche.....	11
Composición y calidad de la leche.....	12
Reproducción.....	13
Mano de obra adicional, costos de tratamiento y servicios veterinarios	14
Descarte de leche	14
Descarte de vacas y muerte.....	15
Enfermedades relacionadas a la mastitis	16
Medidas de control.....	16
Economía de la salud mamaria.....	18
Toma de decisiones en programas de salud mamaria	22
Objetivos	23
Hipótesis.....	24
Referencias bibliográficas.....	25
<i>Capítulo II: Implicancias económicas de buenas prácticas dirigidas a promover bajos recuentos en tanque en establecimientos de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba.....</i>	<i>35</i>
Resumen.....	36
Introducción	37
Materiales y métodos	39
Resultados	40



Discusión.....	42
Conclusión	44
Referencias bibliográficas.....	45
<i>Capítulo III: Magnitud y variación de la mastitis clínica y sus costos asociados en rodeos lecheros de Argentina.</i>	49
Resumen	50
Introducción	51
Materiales y métodos	52
Establecimientos lecheros estudiados.....	52
Selección de los animales en cada predio.....	52
Definición del caso de mastitis	53
Frecuencia de mastitis clínica	53
Análisis estadísticos.....	54
Análisis de factores de riesgo considerando el efecto contextual del predio lechero.....	54
Impacto económico de la mastitis clínica.....	54
Resultados	55
Medidas de frecuencia crudas y específicas.....	55
Factores de riesgo en el contexto del predio lechero	57
Análisis económico	57
Discusión.....	58
Conclusión.....	61
Referencias bibliográficas.....	62
<i>Capítulo IV: Evaluación de una vacuna avirulenta contra la mastitis por Staphylococcus aureus bajo condiciones de campo.</i>	65
Resumen	66
Introducción	67
Materiales y métodos	68
Rodeo, selección de vacas y esquema de vacunación	68
Observaciones clínicas y cuidado de animales	69
Muestras de sangre	69
Muestras de leche	70
Definición del estado de infección.....	70
Producción de leche.....	70
Análisis estadístico y económico	71
Resultados	72
Animales e inmunización.....	72
Detección de anticuerpos.....	72



Infecciones por <i>S. aureus</i> , RCS y producción de leche	74
Resultado económico	74
Discusión.....	77
Conclusión.....	79
Referencias bibliográficas	80
<i>Capítulo V: Modelo de simulación del impacto productivo y económico de la mastitis en tambos de Argentina.</i>	86
Resumen	87
Introducción	88
Materiales y métodos	90
Estructura del modelo.....	90
Módulo reproductivo.....	91
Módulo productivo	92
Módulo de descarte.....	92
Módulo de enfermedad	92
Efectos debidos a la mastitis	96
Escenarios de intervención para la prevención y control de la mastitis	98
Efectos económicos.....	100
Corrida del modelo y análisis de sensibilidad	102
Resultados	102
Datos descriptivos.....	102
Dinámica de la infección.....	102
Pérdidas debidas a la enfermedad.....	103
Resultados económicos	104
Análisis de sensibilidad	107
Discusión.....	111
Conclusión.....	115
Referencias bibliográficas	117
<i>Capítulo VI: Conclusión general y proyecciones futuras</i>	123



Índice de tablas

Capítulo III: Magnitud y variación de la mastitis clínica y sus costos asociados en rodeos lecheros de Argentina.....	
Tabla 3.1. Prevalencia e Incidencia Acumulada de mastitis clínica estratificadas de acuerdo a la paridad y los días en leche (n=2.535).....	56
Tabla 3.2. Factores asociados a las chances de casos prevalentes e incidentes de mastitis clínica..	57
Capítulo IV: Evaluación de la vacuna avirulenta de <i>Staphylococcus aureus</i> contra la mastitis bajo condiciones de campo	
Tabla 4.1. Producción diaria de leche (L) y Recuento de células somáticas en leche (RCS) en vacas vacunadas (GV) y no vacunadas (GNV).....	73
Tabla 4.2. Presupuesto Parcial a corto plazo considerando el efecto del recuento de células somáticas sobre la producción de leche en vaca vacunada contra la mastitis bovina con la cepa <i>S. aureus</i> RC122.....	75
Tabla 4.3. Beneficio Neto de acuerdo a diferentes escenarios de costos de la vacuna (US\$ 0,92; 1,22; 1,40 y 1,59), precios de la leche (L1; L2; L3; L4; L5 y L6) y costos de alimentación (A1; A2; A3; A4 y A5) teniendo en cuenta el efecto del recuento de células somáticas sobre la producción de leche en vaca vacunada contra la mastitis bovina con la cepa <i>S. aureus</i> RC122.	76
Capítulo V: Modelo de simulación del impacto productivo y económico de la mastitis en tambos de Argentina.	
Tabla 5.1. Probabilidades de transición quincenales utilizadas para las infecciones por <i>S. aureus</i> en vacas en lactancia en el rodeo testigo o sin intervención.	95
Tabla 5.2. Probabilidades de transición utilizadas para los estados de salud en vacas secas.....	96
Tabla 5.3. Valores por defecto utilizados para el análisis económico en los diferentes escenarios planteados.....	101
Tabla 5.4. Mediana (percentil 5° y 95°) de las prevalencias quincenales de mastitis clínica (MC) y subclínica (MSC) obtenidas durante un año a partir de 500 iteraciones para los diferentes escenarios evaluados.	103



Índice de figuras

Capítulo II: Implicancias económicas de buenas prácticas dirigidas a promover bajos recuentos en tanque en productores de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba	
Figura 2.1. Promedio y error estandar de recuento de células somáticas en tanque (RCST) mensuales en establecimientos con buenas (BP; n=17) y malas (MP; n=15) prácticas	41
Figura 2.2. Promedio y error estandar de pérdidas (US\$) mensuales en establecimientos con buenas (BP; n=17) y malas (MP; n=15) prácticas según su nivel de RCST.....	42
Capítulo III: Magnitud y variación de la mastitis clínica y sus costos asociados en rodeos lecheros de Argentina.....	
Figura 3.1. Prevalencia e Incidencia acumulada de Mastitis Clínica (IC 95%) estimadas para los establecimientos lecheros evaluados, Argentina (2011)..	56
Capítulo IV: Evaluación de la vacuna avirulenta de <i>Staphylococcus aureus</i> contra la mastitis bajo condiciones de campo	
Figura 4.1. Niveles de IgG anti- <i>S. aureus</i> RC122 (media \pm EE) en sangre (A) y leche (B) en vacas vacunadas (GV) y no vacunadas (GNV) determinados por ELISA.....	73
Capítulo V: Modelo de simulación del impacto productivo y económico de la mastitis en tambos de Argentina.	
Figura 5.1. Datos de ingreso requeridos para poder llevar a cabo la simulación de algunas de las vacas analizadas.	91
Figura 5.2. Módulos que conforman el diseño del modelo de simulación de rodeos lecheros.	91
Figura 5.3. Esquema de la dinámica de infección de mastitis producidas por <i>S. aureus</i>	94
Figura 5.4. Ejemplo del Seguimiento de una vaca (n° 25) durante el segundo año de corrida del modelo (quincenas 38 a 48), para una sola iteración (Iter: n°4).....	98
Figura 5.5. Pérdidas de litros anuales asociadas a mastitis clínica (MC) y subclínica (MSC) por vaca en ordeño (VO) para los tres escenarios que implementan medidas de intervención.....	104
Figura 5.6. Pérdidas monetarias por mastitis y gastos de intervención anuales por vaca en ordeño (VO) para los cuatro escenarios evaluados.	105
Figura 5.7. Evolución del costo total de la enfermedad/VO para los escenarios evaluados (A, B, C y D) a lo largo de un horizonte de tres años de simulación.....	106
Figura 5.8. Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 4 escenarios evaluados (A, B, C y D) bajo diferentes probabilidades de transmisión (β): 0,25, 0,50 y 0,75.	108
Figura 5.9. Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 3 escenarios con intervención bajo diferentes precios de la leche: US\$ 0,16/L, US\$ 0,325/L y US\$ 0,65	109



Figura 5.10. Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 4 escenarios evaluados bajo diferentes niveles de eficacia de las intervenciones: 27%; 40%; 52% y 74% 110



Lista de abreviaturas

BP: Buenas prácticas

Cél: Células

CMO: Chequeo regular de la máquina de ordeño

CS: Células somáticas

DEL: Días en leche

EE: Error estándar

IgG: Inmunoglobulina G

IgG₂: Inmunoglobulina G₂

IIM: Infecciones intramamarias

IA: Incidencia acumulada

GNV: Grupo no vacunado

GV: Grupo vacunado

kg: Kilogramos

L: Litros

MC: Mastitis clínica

MSC: Mastitis subclínica

NOF: Número de partos

Página (páginas): p. (pp.)

DPO: Desinfección de pezones posordeño a todas las vacas en lactancia

PP: Presupuesto parcial

TI: Tasa de incidencia

TMC: Tratamiento de casos de mastitis clínica durante la lactancia

TVS: Terapia antibiótica al secado a todas las vacas

VO: Vaca en ordeño

VOL: volumen

RCS: Recuento de células somáticas

RCST: Recuento de células somáticas en tanque



Recursos financieros para la realización de la tesis

El presente trabajo de tesis doctoral se desarrolló en el marco del Doctorado Binacional en Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la Universidad Federal Rural do Río de Janeiro (UFRRJ).

Dicho trabajo fue apoyado por subvenciones de la Secretaría de Ciencia y Técnica SECyT-FONCyT, el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.



RESUMEN

La mastitis bovina es considerada una de las principales enfermedades de la producción lechera debido a las importantes pérdidas económicas en rodeos y en la industria láctea. El eje central de esta tesis fue aportar conocimientos sobre aspectos técnicos, epidemiológicos y económicos del impacto de la mastitis bovina y su control. El documento se encuentra dividido en seis capítulos. El primero abarcó aspectos sobre la biología de la mastitis, su impacto productivo-económico y los métodos disponibles para el estudio de su control. El segundo, tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adopción de buenas prácticas sobre el nivel de recuento de células somáticas en tanque de leche y su impacto económico. Dicho nivel fue significativamente menor en tambos que aplicaban buenas prácticas, manifestándose en una menor pérdida monetaria. El objetivo del tercer capítulo fue estimar la prevalencia e incidencia de mastitis clínica y sus consecuencias económicas en rodeos que aplican el plan de los cinco puntos y que tienen buenos estándares de calidad de leche. Se observó una gran variación en las medidas de frecuencia de la mastitis entre rodeos. Considerando días en leche y paridad conjuntamente, ambos ajustados por el efecto del predio, sólo los días en leche estuvieron asociados a la prevalencia, mientras que para la incidencia acumulada y tasa de incidencia, el riesgo fue mayor en vacas respecto a las vaquillonas. En el cuarto capítulo se evaluó la eficacia de una vacuna contra la mastitis por *Staphylococcus aureus* en condiciones de campo y la factibilidad económica de implementar el programa de inmunización. Se observó un aumento de IgG en sangre y leche y un menor nivel de recuento de células somáticas en el grupo vacunado. La implementación del programa de vacunación fue económicamente eficiente. El quinto capítulo comprendió el desarrollo de un modelo de simulación para pronosticar el efecto de la mastitis en rodeos de nuestra región. Se simuló la dinámica de mastitis debida a *S. aureus* cuantificando su prevalencia bajo diferentes escenarios de intervención. Las pérdidas en producción de leche fueron mayores que las reproductivas. La implementación de los cinco puntos de control de la mastitis fue económicamente eficiente. La elección del plan económicamente óptimo fue sensible a la eficacia global asumida y al precio de la leche. Finalmente, en el sexto capítulo se resumieron las conclusiones generales y futuras proyecciones, remarcando la importancia de disponer de herramientas que permitan estimar las consecuencias productivas y económicas de la mastitis a fin de obtener un mayor beneficio para productores y un mejoramiento de la calidad de la leche.



RESUMO

A mastite bovina é considerada uma das principais doenças da produção leiteira, a causa das perdas econômicas significativas em rodeios e na indústria de laticínios. O eixo central desta tese foi contribuir com o conhecimento sobre aspectos técnicos, epidemiológicos e econômicos do impacto da mastite bovina e seu controle. O documento está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo incluiu a biologia da mastite, seu impacto econômico-produtivo e os métodos disponíveis para o estudo de seu controle. O segundo capítulo teve como objetivo avaliar o efeito da adoção das boas práticas no nível de contagem das células somáticas no tanque de leite e seu impacto econômico. Esse nível foi significativamente menor nas explorações leiteiras que aplicaram as boas práticas, resultando em menor perda monetária. O terceiro capítulo teve como objetivo estimar a prevalência e incidência da mastite clínica e suas conseqüências econômicas em rodeios que rotineiramente aplicam o plano de cinco pontos e que têm bons padrões de qualidade de leite no tanque. Uma grande variação nas medidas de frequência da mastite foi observada entre os rodeios. Considerando conjuntamente os dias em leite e o número de partos, ajustados pelo efeito do local, só os dias em leite estiveram associados à prevalência; a incidência cumulativa e a taxa de incidência foram maiores em vacas. No quarto capítulo, foram avaliadas a eficácia de campo de uma vacina contra a mastite por *Staphylococcus aureus* e a viabilidade econômica da implementação do programa de imunização. Houve aumento do IgG no sangue e no leite e um menor nível de contagem de células somáticas no grupo vacinado. A implementação do programa de vacinação foi economicamente eficiente. No quinto capítulo foi apresentado o desenvolvimento de um modelo de simulação para prever o efeito da mastite em rodeios na região em estudo. A dinâmica da mastite por *S. aureus* foi simulada quantificando-se sua prevalência sob diferentes cenários de intervenção. As perdas na produção de leite foram maiores que as reprodutivas. A implementação dos cinco pontos de controle da mastite foi economicamente eficiente. A escolha do plano economicamente ótimo foi sensível à eficácia global assumida e ao preço do leite.

Finalmente, no sexto capítulo, as conclusões gerais e projeções futuras foram resumidas, salientando a importância de dispor de ferramentas que permitam estimar as conseqüências produtivas e econômicas da mastite, a fim de obter um maior benefício para os produtores e uma melhoria na qualidade do leite.



Capítulo I

Introducción General



INTRODUCCIÓN

Sector lechero

La producción, el procesamiento y el consumo sostenibles de la leche y de los productos lácteos benefician a la población humana y al planeta. La leche es uno de los bienes agrícolas más producidos y valiosos del mundo. En 2013, la leche, con una producción total de 770.000 millones de litros, ocupó el tercer lugar por tonelaje de producción y fue el producto agrícola más importante en términos de valor en el mundo (FAOSTAT, 2016). La leche forma parte del 27% del valor agregado global del ganado y el 10% del de la agricultura. A nivel mundial, el sector lechero está creciendo rápidamente. Se prevé que la producción de leche aumentará 177 millones de toneladas para 2025, con una tasa de crecimiento promedio del 1,8% por año. Durante el mismo periodo, se espera que el consumo *per cápita* de productos lácteos aumente entre 0,8% y 1,7% por año en los países en desarrollo, y entre 0,5% y 1,1% en los países desarrollados (OCDE-FAO, 2016). Debido al gran tamaño de la industria lechera, estas tasas de crecimiento pueden producir importantes beneficios de desarrollo para el sustento de las personas, así como también para el ambiente y la salud pública.

En Argentina, en el año 2018, la producción de leche fue aproximadamente de 10.500 millones de litros, siendo el 78% de la misma destinada al mercado interno, con un consumo *per cápita* de 193 L/hab/año (OCLA, 2019). Existen actualmente en el país alrededor de 11 mil establecimientos lecheros. Las principales cuencas se encuentran delimitadas dentro de la zona agroecológica denominada “Llanura pampeana”, entre los Paralelos 31 y 39 de Latitud Sur. Dicha zona involucra a las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y La Pampa, quienes concentran alrededor de un 88% de las unidades productivas y un 90% de las vacas de tambo del país (OCLA, 2019). Asimismo, el 87% de empresas lácteas y de la capacidad instalada total del país, se concentrarían también en dicha región (OCLA, 2019).

Los principales avances en los campos de la producción, nutrición y genética animal así como de las prácticas zootécnicas, han desempeñado un papel trascendente en el incremento de la producción de leche en las últimas dos décadas. A pesar de ello, el sistema lechero se enfrenta a numerosos problemas de salud, siendo la mastitis bovina una de las enfermedades de la producción de mayor impacto en todo el mundo (Hogeveen *et*



al., 2011). Dicha entidad es predominantemente de carácter infeccioso y multifactorial, y está en estrecha relación con las características del sistema de producción y las medidas de control implementadas (Zadoks y Fitzpatrick, 2009).

Definición de mastitis

La mastitis es un proceso inflamatorio de la glándula mamaria (GM) ante una agresión que se manifiesta por diferentes cambios físicos o químicos en la ubre (Seegers *et al.*, 2003; Zhao y Lacasse, 2008). Entre el 75% y 90% de los casos de mastitis son causados por procesos infecciosos (sobre todo bacterias, y en menor medida virus, hongos y levaduras), y, con menor frecuencia, por causas físicas o químicas.

La mastitis bacteriana es ocasionada principalmente por patógenos que penetran a la GM a través del canal del pezón, donde se multiplican y sintetizan toxinas, dañando el tejido mamario y produciendo alteraciones en la composición de la leche (Nielsen, 2009). Durante el proceso inflamatorio, se produce un pasaje de constituyentes desde la sangre hacia la leche. Dichos elementos están constituidos por células, proteínas séricas, enzimas y sales las que, directa, o indirectamente, inducen a una disminución de la síntesis de lactosa y caseína, alteran la calidad de la grasa y afectan la producción de leche de los acinos mamaros en vacas en ordeño (VO) (Harmon, 1994; Østerås, 2000).

La mastitis es una enfermedad multifactorial, por lo que su incidencia, severidad y duración dependen de la exposición a los patógenos, de los mecanismos de defensa de la vaca y de la presencia de factores ambientales (Huijps, 2009). La misma puede manifestarse de dos formas: clínica o subclínica. La primera, a su vez, se clasifica según la severidad del cuadro en: leve (grado 1), cuando sólo se presentan anormalidades en la leche; moderado (grado 2) cuando las anormalidades de la leche van acompañadas de inflamación o enrojecimiento de la GM o; severo (grado 3), cuando la vaca exhibe, además, signos sistémicos de enfermedad como son depresión, anorexia, deshidratación y/o fiebre (Pinzón-Sánchez y Ruegg, 2011).

A diferencia de la mastitis clínica (MC), en la mastitis subclínica (MSC) no se detectan síntomas o signos a la inspección y palpación de la GM, ni cambios físicos en la leche. Así mismo, el proceso afecta cuali y cuantitativamente a la producción debido al aumento drástico del conteo de leucocitos y bacterias presentes en la leche. En general, la frecuencia de la MSC es mayor que la de la MC, estimándose que pueden ocurrir entre 15 y 40 casos subclínicos por cada un caso clínico (Philpot, 1998). La MSC muchas veces



pasa desapercibida por parte del productor, quien subestima las pérdidas asociadas a ella (van Asseldonk *et al.*, 2010). Para identificar estos casos de mastitis es necesario utilizar técnicas de laboratorio como la medición del recuento de células somáticas (RCS) y el cultivo bacteriológico (Barker *et al.*, 1998).

Otra clasificación clínica de la mastitis se relaciona con la duración de la misma. De esta forma, puede ser aguda, caracterizada por su aparición repentina, subaguda o crónica. Ésta última está asociada a un proceso inflamatorio que persiste por meses, con la presencia de anomalías en la leche y el desarrollo progresivo de tejido fibrótico en la GM (Jain, 1979).

Patógenos:

Se han identificado aproximadamente 140 especies de patógenos causantes de mastitis bovina (Bogni *et al.*, 2011), siendo las bacterias los principales microorganismos involucrados. A éstos, tradicionalmente, se los ha clasificado en patógenos mayores y menores, dependiendo de la magnitud de la respuesta inflamatoria asociada a la infección. Los patógenos mayores pueden producir MC (Djabri *et al.*, 2002) y cambios extensos en la composición de la leche (Harmon, 1994). Estas infecciones están representadas fundamentalmente por *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp. (*agalactiae*, *dysgalactiae*, *uberis*), *Escherichia coli* y *Klebsiella* spp. Por otro lado, los patógenos menores incluyen a especies como *Corynebacterium bovis* y estafilococos coagulasa-negativos, los que producen generalmente infecciones moderadas, asociadas con frecuencia a MSC (Harmon, 1994; Djabri *et al.*, 2002).

Los microorganismos asociados a la mastitis también son clasificados según la forma en que se diseminan en la población, en patógenos contagiosos o ambientales (Bradley, 2002). Dentro de los primeros, se destacan *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* y *Mycoplasma*, cuya principal vía de entrada la constituye el canal del pezón, siendo la GM infectada el mayor reservorio de los mismos. Estos microorganismos se transmiten de vaca a vaca, principalmente durante el ordeño, y dado que se han adaptado a las condiciones de la ubre por medio de estrategias para evadir el sistema inmune, tienden a producir MSC crónicas, con eventuales manifestaciones súbitas de episodios clínicos (Harmon, 1994).

En el caso de los patógenos ambientales, la principal fuente de exposición a los mismos está constituida por el entorno de la vaca, ya sea por el material de las camas, el



estérmico, la tierra o el agua. La mayoría de las infecciones atribuidas a este grupo ocurriría entre los ordeños, y se caracteriza por ser fundamentalmente de forma clínica y de corta duración, debido al escaso o nulo grado de adaptación de estos microorganismos al hospedador. Los géneros más representativos de este grupo son los estreptococos ambientales, los coliformes y los enterococos (Harmon, 1994).

En nuestro país, *Staphylococcus aureus* es el patógeno mayor más frecuentemente aislado (Dieser *et al.*, 2013). Dicho microorganismo es responsable de ocasionar un gran número de infecciones subclínicas. A diferencia de los microorganismos ambientales, las vacas se contagian principalmente durante el ordeño después de prolongados periodos de exposición, y raramente se enferman de gravedad (Bramley *et al.*, 2003).

Células somáticas en leche

El término “células somáticas” (CS) hace referencia a células derivadas del cuerpo que se encuentran presentes en la leche. Existen varios tipos de CS y su proporción relativa depende del estado de salud de la GM (Nielsen, 2009). En condiciones normales, los niveles de CS son bajos, y predominan los leucocitos provenientes de la sangre. Éstos constituyen parte del sistema inmune y de los mecanismos protectores de la ubre. En la GM sana, el porcentaje de cada tipo de célula blanca es muy variable. Algunos autores manifiestan que los macrófagos son el tipo celular predominante (Pyörälä, 2003; Lindmark-Mansson *et al.*, 2006), mientras que otros han demostrado que los linfocitos representan la mayor población (Leitner *et al.*, 2000; Schwarz *et al.*, 2011a,b). Leitner *et al.* (2000) sugirieron que los patrones de leucocitos en GM sanas están controlados genéticamente. Las células epiteliales, provenientes de la descamación del epitelio mamario de alvéolos y conductos de la ubre, se encuentran en mucha menor medida, constituyendo entre 0 y 7% del total de la población de CS.

La presencia de tales células en la leche constituye un fenómeno fisiológico normal, siendo su principal función, reparar el tejido dañado y proteger a la GM frente a las enfermedades infecciosas (Kehrli y Shuster, 1994).

Numerosos factores genéticos y ambientales afectan el número y tipo de leucocitos presentes en la leche, tales como el estado lactacional, número de partos (NOP) y productividad de la vaca, conformación de la GM, estación del año, estrés, intervalo entre ordeños y tipo de ordeño (Kehrli y Shuster, 1994; Saloniemi, 1995; Persson Waller *et al.*, 2003; Dürr *et al.*, 2008). Sin embargo, el factor más importante asociado al incremento de

las CS es la presencia de las infecciones intramamarias (IIM) (Harmon, 1994; Schepers *et al.*, 1997). Cuando una bacteria invade la GM, se multiplica en la leche y libera toxinas y otros metabolitos que estimulan la respuesta inmunitaria del hospedador con el consecuente incremento de las CS. Los macrófagos inician el proceso inflamatorio liberando una gran cantidad de mediadores químicos que estimulan a otros leucocitos, como los neutrófilos, a migrar de la sangre a la leche. A su vez, durante el proceso de fagocitosis, se produce la liberación de otros componentes farmacológicamente activos, lo que conlleva a más inflamación (Sordillo *et al.*, 2002). En estos casos de mastitis, el aumento de CS se debe fundamentalmente a la presencia de leucocitos polimorfonucleares (Sandholm, 1995).

Factores de riesgo

La unidad de muestreo para estudiar factores de riesgo de mastitis puede ser el rodeo, la vaca o el cuarto mamario (Schukken *et al.*, 2003).

El riesgo de infección a nivel de rodeo puede depender del tamaño del mismo, de factores ambientales y de manejo, como es el tipo de alojamiento, higiene y mantenimiento de camas y corrales, manejo del estiércol, frecuencia de recambio de pezoneras, tipo de máquina de ordeño, suplementación con minerales en la dieta, manejo de vaquillonas (Barkema *et al.*, 1998, 1999, 2013; Peeler *et al.*, 2000), así como de la exposición a vacas infectadas (Lam *et al.*, 1996; Zadoks *et al.*, 2001).

A nivel de vaca, tanto la frecuencia como la magnitud de la infección pueden estar influenciadas por el patógeno involucrado, el estado lactacional, el NOP, el estado inmunológico, la morfología de la GM, la genética, la raza y el estado nutricional de la vaca (Harmon, 1994; Saloniemi, 1995; Schepers *et al.*, 1997; Persson Waller *et al.*, 2003). La distribución de vacas con altos niveles de RCS y/o MC teniendo en cuenta su NOP y días en leche (DEL), varía ampliamente entre predios (Zadoks *et al.*, 2001; Barkema *et al.*, 2013). Si bien se han observado mayores niveles de RCS y de casos de MC durante las primeras semanas posparto en vaquillonas, en general, el riesgo, tanto de MC como de MSC, aumenta con el NOP y los DEL (Barkema *et al.*, 1998; Rajala-Schultz *et al.*, 1999; Steeneveld *et al.*, 2008).

Los altos niveles de producción (Rajala-Schultz *et al.*, 1999; Gröhn *et al.*, 2004; Wilson *et al.*, 2004), historia de infecciones previas (Steeneveld *et al.*, 2008), así como la presencia de otras patologías como fiebre de la leche, retención de placenta, metritis,



distocia, cetosis o laminitis (Gröhn *et al.*, 1990; Emanuelson *et al.*, 1993; Svensson *et al.*, 2006), pueden modificar el riesgo de padecer MC.

Respecto al riesgo de infección a nivel de cuarto, se han estudiado factores tales como la posición del mismo en la GM (delantero, trasero, izquierdo, derecho), características de la punta del pezón (dureza y espesor) y la historia de infección previa, entre otros, siendo los resultados hallados muy variados dependiendo del tipo de rodeo, manejo y de los patógenos involucrados en cada estudio (Barkema *et al.*, 1997, Lam *et al.*, 1997; Zadoks *et al.*, 2001).

Métodos de detección de la mastitis

Existen muchas herramientas disponibles para evaluar el estado de salud mamaria y la calidad de la leche en establecimientos lecheros. La inflamación de la GM puede ser observada a nivel de cuarto, vaca, rodeo o población general (Schukken *et al.*, 2003).

El diagnóstico de MC se realiza por medio de la observación y palpación de la GM y de pruebas físicas, a través del despunte y análisis de los primeros chorros de leche. Para el diagnóstico bacteriológico se utilizan métodos de aislamiento, cultivo, tinción, pruebas bioquímicas e identificación etiológica (Nielsen, 2009).

La MSC puede ser también diagnosticada por medio de la presencia de patógenos en cultivos bacteriológicos de la leche, pero esto no es factible de ser utilizado en la práctica como test de rutina debido a los costos y al tiempo que conlleva (Sharma *et al.*, 2010). Por otra parte, las CS en leche han demostrado ser un excelente indicador de la MSC (Dürr *et al.*, 2008). Su medición a nivel de tanque, vaca o cuarto, es el método auxiliar de diagnóstico más importante para juzgar el estado de salud mamaria de un rodeo. El nivel de RCS permite clasificar a las vacas o cuartos como infectados o no infectados y puede ser utilizado para seleccionar aquellos animales que requieran un cultivo microbiológico o tratamiento al secado, así como para segregar vacas por altos recuentos y, potencialmente, para descartarlas (Dohoo, 2001). Sin embargo, diversos factores, entre ellos el patógeno involucrado en la mastitis, pueden causar variaciones en el RCS, y los rangos observados entre vacas con y sin IIM muchas veces se superponen, afectando la capacidad de este método para clasificar el estado real de salud (Dohoo y Leslie, 1991; de Haas *et al.*, 2004). Es por esto que se deben fijar puntos de corte que permitan predecir dicho estado. La selección de ese umbral puede variar de acuerdo al objetivo (descartar vacas, evaluar el nivel de RCS al posparto o de la respuesta a tratamientos de mastitis) y a la prevalencia de

la IIM en el rodeo (Dohoo, 2001). En líneas generales, un umbral de 200.000/mL a nivel de cuarto es adecuado para establecer la presencia o no de IIM (Schukken *et al.*, 2003).

Con respecto al RCS en tanque (RCST), este indicador permite estimar pérdidas de producción debidas fundamentalmente a MSC y valorar la calidad de la leche. Su monitoreo requiere de varios muestreos en el tiempo a fines de evaluar su tendencia y permitir, por ejemplo, establecer medidas de intervención cuando se supera el umbral establecido (Schukken *et al.*, 2003).

Otra prueba ampliamente utilizada a nivel de campo para el diagnóstico de mastitis, es el CMT (California Mastitis Test). Se trata de un método indirecto que, si bien no reemplaza la medición de CS en el laboratorio, es práctico, de bajo costo y resultado inmediato, y permite detectar la MSC estimando indirectamente el recuento de dichas células (Sanford *et al.*, 2006).

Las mediciones de otros parámetros inflamatorios, como conductividad eléctrica, lactosa, lactato-deshidrogenasa, proteínas de fase aguda y pH han sido estudiadas (Pyörälä, 2003; Hamann, 2005; Åkerstedt *et al.*, 2007), siendo algunas de ellas, adaptadas para el monitoreo continuo de la salud mamaria en la línea de ordeño.

Monitoreo de la mastitis

Existen numerosos parámetros que permiten monitorear el estado general de la salud mamaria en un rodeo. Los parámetros primarios más importantes son el RCST, la tasa de incidencia de MC y el porcentaje de vacas descartadas por razones relacionadas a la salud mamaria. Los parámetros secundarios hacen referencia al porcentaje de infecciones crónicas y las tasas de nuevas infecciones subclínicas. Además de éstos, existen otros parámetros (como ser el porcentaje de vacas y de vaquillonas con altos RCS en el posparto) cuya elección para monitorear el estado de salud mamaria dependerá de los objetivos del programa (Barkema *et al.*, 2013).

Efectos de la mastitis

La mastitis es de gran importancia para el productor dado a que es una enfermedad que produce un impacto negativo a diferentes niveles de la performance de la vaca y del rodeo, incurriendo tanto en costos directos como indirectos.

Los efectos más importantes son las pérdidas en producción y calidad de la leche, el uso de medicamentos, la leche descartada, los honorarios veterinarios, la mano de obra



adicional, el descarte de vacas con mastitis, los nuevos casos de MC y MSC y la asociación con otras enfermedades (Nielsen, 2009).

Producción de leche:

La pérdida de leche asociada a mastitis depende de varios factores: presentación del cuadro (clínico o subclínico), severidad, nivel de RCS, patógeno implicado, NOP de la vaca, estado de lactación, tratamiento aplicado, número de cuartos afectados, entre otros (Nielsen, 2009).

Existen diferencias en la literatura en cuanto al nivel de pérdidas asociado a esta enfermedad. Dichas diferencias son debidas al tipo de manejo, nivel de producción de las vacas, periodos de seguimiento de los animales y métodos de análisis utilizados en los diferentes estudios. Algunos resultados indican que la pérdida de producción es mayor en multíparas que en vaquillonas (Hortet *et al.*, 1999; Rajala-Schultz *et al.*, 1999; Bennedsgaard *et al.*, 2003; Dürr *et al.*, 2008), encontrándose también variaciones en relación a los patógenos involucrados (Gröhn *et al.*, 2004; Hertl *et al.*, 2014).

En diferentes estudios se ha reportado que, cuando la MSC ocurre en la lactancia tardía (Hortet *et al.*, 1999; Bennedsgaard *et al.*, 2003) o cuando la MC ocurre antes del pico de producción (Hortet y Seegers, 1998; Rajala-Schultz *et al.*, 1999), las pérdidas son superiores. Así mismo, posteriormente a la presentación de un caso clínico, las pérdidas de leche persisten a lo largo de toda la lactancia (Houben *et al.*, 1993; Rajala-Schultz *et al.*, 1999; Wilson *et al.*, 2004; Tirante *et al.*, 2013). Según una revisión realizada por Seegers *et al.* (2003), las pérdidas promedio por lactancia debidas a un caso de MC variaron desde valores no significativos a mayores a 700 L. En estimaciones realizadas a corto plazo (dentro de una lactancia), vacas monitoreadas durante un mes después de ocurrido el caso clínico tuvieron pérdidas entre 0 a 100 kg de leche, mientras que en aquellas cuyo seguimiento fue mayor a dos meses, dichas pérdidas oscilaron entre 40 y 160 kg (Seegers *et al.*, 2003).

Para vacas de raza Holando Argentino, se ha propuesto una pérdida acumulada promedio de 375 kg (aproximadamente 5% de la producción total por lactancia) a partir de un caso clínico ocurrido en el segundo mes de lactación. No obstante, dichas pérdidas son muy variables (Seegers *et al.*, 2003). En este sentido, Wilson *et al.* (2004) estimaron que la pérdida de producción durante toda la lactancia debida a un caso clínico ocurrido a los 80 DEL, luego de ajustar por otras enfermedades, fue de 598 kg para vacas multíparas.



Considerando a su vez que estas vacas, antes de contraer MC, tenían una producción diaria superior en 2,6 kg sobre las vacas sanas, la pérdida potencial podría haber sido de 1181 kg.

En tambos de Argentina, Tirante *et al.* (2013) reportaron pérdidas en la lactancia de aproximadamente 450 L a partir de un caso clínico ocurrido a los 60 DEL, considerando también el efecto de otras enfermedades concomitantes.

Por otro lado, en estudios donde el seguimiento de las vacas fue durante un lapso mayor de tiempo, se determinó que tanto la forma clínica como los elevados niveles de RCS producen un efecto “de arrastre” (*carry over*) que afecta la producción en la subsiguiente lactancia (Houben *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 2004). El efecto de arrastre de 3 casos clínicos fue estimado por Houben *et al.* (1993) en 381 kg, equivalente a un 5,9% de la producción. En otros estudios, el impacto de la MC varió entre un 9% y un 50% sobre la lactancia posterior (Fetrow *et al.*, 2000).

Según una revisión de Hortet y Seegers (1998), a medida que el RCS duplica su nivel, se produce una disminución en la producción equivalente a 0,5 kg (0,4 y 0,6 en primíparas y multíparas, respectivamente), considerando un umbral de 50.000 cél/mL. Si bien la mayor producción de leche ocurre en la lactancia temprana, ante los mismos valores de RCS se detectaron pérdidas superiores en la lactancia tardía.

En un estudio más reciente, Dürr *et al.* (2008) demostraron que el punto de corte a partir del cual comienza a verse afectada la producción de leche es en el $\text{LnRCS} = 2$ (equivalente aproximadamente a 7.400 cél/mL). Por cada unidad de incremento en el LnRCS , las pérdidas de leche varían de 0,33 a 0,55 kg/día y de 0,77 a 1,78 kg/día en primíparas y multíparas, respectivamente.

Composición y calidad de la leche:

Tanto la producción como el contenido de proteína y grasa en la leche son modificados por la IIM (Harmon, 1994; Østerås, 2000). Muchas de las enzimas involucradas en las reacciones inflamatorias son resistentes a la pasteurización y pueden producir daño sobre dichos componentes, resultando en serios problemas de sabor en los productos lácteos. Además, los mismos pueden verse afectados en duración y calidad a pesar de estar refrigerados apropiadamente (Petrovski *et al.*, 2006).

Los únicos cambios en la composición de la leche que son de importancia económica para el productor son aquellos que afectan el precio de la misma, es decir, los componentes que son parte del esquema de pago (Seegers *et al.*, 2003). Actualmente, la industria láctea



de algunos países se basa, entre otros, en los niveles de RCST para los sistemas de bonificaciones y/o penalizaciones por calidad de leche (Viguier *et al.*, 2009).

Reproducción:

La mastitis ha sido asociada recientemente a efectos negativos sobre la performance reproductiva de las vacas (Hertl *et al.*, 2010; Nava-Trujillo *et al.*, 2010; Lavon *et al.*, 2011). Es así que, ante la presencia de un cuadro clínico o subclínico, se han visto incrementado el intervalo parto-primer servicio, el intervalo parto-concepción y el número de servicios o inseminaciones por concepción. Por otro lado, se ha observado una reducción de la tasa de preñez al primer servicio o inseminación.

Las infecciones clínicas a menudo implican la liberación de mediadores inflamatorios, los que ejercen efectos negativos sobre la función luteal, los niveles de progesterona en sangre y la continuidad de la preñez temprana. Estos efectos han sido asociados a la liberación de endotoxinas por bacterias Gram-negativas (Moore, 1991; Moore y O'Connor, 1993). La ocurrencia de mastitis próxima al momento de la inseminación puede tener un efecto negativo en el establecimiento o mantenimiento de la preñez a través del eje hipotálamo-hipófisis-ovárico y del eje útero-ovárico. De esta manera, se producen alteraciones en los patrones hormonales, el desarrollo folicular y embrionario y el ambiente uterino (Mellado, 2018). Dichos efectos han sido también descritos, aunque en menor medida, en infecciones debidas a bacterias Gram-positivas (Hertl *et al.*, 2010).

Según resultados de una investigación de Kvapilik *et al.* (2014), las vacas que experimentaron MC tuvieron tasas de concepción entre 8 y 15% inferiores en relación a vacas sanas y a su vez demoraron entre 19 y 25 días más para preñarse. También se observó en dichas vacas un mayor riesgo de abortos.

Según los hallazgos de Juozaitiene y Juozaitis (2005), aquellas vacas en las primeras tres lactancias que presentaron aumentos del RCS de 100.000 a 800.000 cél/mL o más en los primeros 90 DEL, requirieron un incremento en el número de inseminaciones por concepción (de 133,1 a 144,6%), en el período parto-concepción (de 55,5 a 77,9%) y en el intervalo parto-parto (de 11,6 a 17,7%).



Mano de obra adicional, costos de tratamiento y servicios veterinarios:

La mano de obra adicional para el control y prevención de la mastitis es requerida para actividades como el cambio de pezoneras, lavado extra del equipo de ordeño, descarte de la leche y tratamiento y segregación de vacas enfermas. El tiempo promedio requerido para tratar un caso de MC fue estimado en 2 horas (Kvapilik *et al.*, 2014), aumentando a 4 horas cuando el mismo es severo (Fetrow *et al.*, 2000).

Los costos de mano de obra son difíciles de interpretar y varían entre los rodeos. Si la mano de obra es contratada, su costo es igual al tiempo que la persona está abocada a todo lo relativo a mastitis multiplicado por el costo de la hora de trabajo. Por otra parte, si el valor de la hora de trabajo proviene del tiempo libre del productor, el costo de oportunidad es igual a cero. Pero si el productor deja de atender otras tareas para hacerse cargo de aquellas relacionadas a la mastitis, el costo de oportunidad es equivalente a la disminución de los ingresos (ingresos suprimidos) por dejar de lado la otra actividad (Halasa *et al.*, 2007).

Los medicamentos y demás insumos necesarios para tratar a los animales enfermos, así como los servicios veterinarios, son una causa directa del impacto económico producido por la mastitis. Sus costos varían entre los diferentes países, dependiendo de la legislación y particularidades de cada región (Halasa *et al.*, 2007).

Descarte de leche:

Si las vacas con mastitis son tratadas con antibióticos, la leche debe ser descartada por un determinado periodo de tiempo, que suele durar aproximadamente entre 7 y 8 días, dependiendo de la severidad del cuadro, el tipo de tratamiento y el antibiótico utilizado (Kvapilik *et al.*, 2014). La leche es descartada, en parte, por cuestiones terapéuticas durante la presentación del cuadro (generalmente entre 2 y 3 días) y, en parte, para evitar el riesgo de presencia de residuos de antibióticos en la leche (alrededor de 5 días). Las pérdidas económicas pueden calcularse como la cantidad de litros descartados en ese período multiplicado por el precio de la leche (Østerås, 2000).

A diferencia de la leche que deja de producirse por la enfermedad, en estos casos también deberían contabilizarse los costos de alimentación asociados a la producción de la leche descartada. Por otro lado, en aquellos casos en que los productores alimenten a los terneros con esa leche de descarte, debería descontarse el ahorro en sustituto lácteo.



Descarte de vacas y muerte

El descarte de vacas lecheras es una decisión compleja que involucra múltiples factores. El concepto tradicional distingue entre el descarte voluntario y el involuntario. El descarte involuntario es debido a razones tales como la muerte, enfermedades graves e infertilidad. El descarte voluntario, a menudo se refiere a aquellos animales que abandonan el rodeo debido a su bajo rendimiento (en ausencia de un problema de enfermedad conocido) o porque existe un exceso de animales en el establecimiento. El uso de esta clasificación ha persistido, aunque no refleja la realidad de las decisiones de descarte o las características por las cuales las vacas son sacrificadas. Por ello, una distinción conceptual alternativa define a los descartes como biológicos o económicos (Petrovski *et al.*, 2006). Las eliminaciones biológicas implican a aquellas vacas para las cuales no existe un futuro productivo posible, es decir, que presentan condiciones irreversibles que impiden su permanencia en el rodeo. Esas vacas constituyen una pequeña minoría de todos los descartes ocurridos en los predios. Por otro lado, el descarte económico es aquél en el que se ha tomado la decisión de eliminar a una vaca para ser reemplazada por otra debido a que es una opción económicamente beneficiosa (Fetrow *et al.*, 2006). El descarte es, entonces, una técnica que permitiría mejorar el rodeo y corregir problemas de manejo.

Las enfermedades pueden tener un papel crucial en las decisiones de los productores. Estimaciones sugieren que más de la mitad de todos los descartes ocurren involuntaria y prematuramente debido a trastornos de la salud (Petrovski *et al.*, 2006). Sin embargo, los productores consideran numerosos factores al momento de tomar decisiones para eliminar una vaca: la edad, el nivel de producción, el estado de preñez y su rendimiento reproductivo, la etapa de lactancia en la que se encuentra y su estado de salud general. Por otro lado, existen factores económicos, como el precio de la leche, el de las vacas descartadas y el mérito genético así como la disponibilidad y el precio de la vaquillona de reemplazo (Petrovski *et al.*, 2006).

El proceso de categorizar el descarte bajo una única razón, está sujeto a sesgos y errores. A veces, la razón es clara y próxima al evento de descarte, pero, frecuentemente existen numerosos motivos, y los mismos pueden ser distantes y menos evidentes (Fetrow *et al.*, 2006). Es por esto que la fracción de descarte atribuible a mastitis es difícil de calcular, y varía considerablemente entre rodeos. En una revisión realizada por Seegers *et al.* (2003) se informó una tasa de descarte relacionada a desórdenes de la ubre del 5 al 17%, alcanzando el 28,5% cuando se incluían los altos RCS y daños del pezón. Por otro



lado, en un meta-análisis llevado a cabo por Kvapilik *et al.* (2014), la tasa de descarte debido a problemas relacionados con la GM varió entre 10 y 30%.

Cabe aclarar que, si bien en muchos estudios, el descarte por mastitis es visto como una pérdida, también puede ser considerado como una medida preventiva al evitar la transmisión de la infección a las demás vacas del rodeo. La decisión de descartar una vaca con mastitis es más costo-efectiva que la de descartar una vaca sana, dado que el hecho de evitar nuevos casos puede ser visto como un beneficio adicional (Hogeveen *et al.*, 2011).

Además del descarte, otro efecto a considerar en casos de mastitis, es el que se relaciona con la muerte o eutanasia de los animales afectados por cuadros graves. La tasa de mortalidad anual atribuida a mastitis ha sido calculada entre 0,19% y 0,22% en diversos estudios (Seegers *et al.*, 2003). Sin embargo, tasas de mortalidad más altas se han observado en situaciones específicas. En este sentido, en una revisión de Petrovski *et al.* (2006) un estudio reportó una tasa de mortalidad específica tres veces mayor (0,6% en VO) y una elevada tasa de letalidad (2,2%) en 6 rodeos debido a una elevada incidencia de MC asociadas a bacterias Gram-negativas, particularmente coliformes, mientras que en otro estudio, dicha tasa de letalidad alcanzó un 14% sumado esto a una tasa de descarte temprano debido a la condición de las vacas afectadas del 21%.

Enfermedades relacionadas a la mastitis:

La ocurrencia de mastitis está condicionada a la ausencia o presencia de otras enfermedades debido a la interrelación presente entre diferentes síndromes, sobre todo en relación al parto. Es así que la mastitis puede estar asociada a enfermedades tales como cetosis, hipocalcemia, desplazamiento de abomaso y laminitis, de modo que, una vez que la vaca desarrolla una de ellas, es usual que contraiga alguna de las otras (Gröhn *et al.*, 2004). Sin embargo, es difícil establecer la relación causal entre las mismas, por lo que también lo es su impacto económico (Halasa *et al.*, 2007).

Medidas de control

El manejo es considerado uno de los medios más efectivos de control de la mastitis (Seegers *et al.*, 2003). Dada la compleja naturaleza de esta enfermedad, el manejo consiste en un amplio rango de estrategias conocido como “Plan de los Cinco Puntos” (Neave *et al.*, 1969), el que ha sido eficiente en reducir la incidencia de las mastitis contagiosas y el RCST (Barkema *et al.*, 1999; Barnouin *et al.*, 2004; Vissio *et al.*, 2018). Estas medidas



incluyen el tratamiento apropiado de la MC, la desinfección de los pezones posordeño, la aplicación de terapia antibiótica al secado, el adecuado mantenimiento y uso del equipo de ordeño y la segregación de vacas crónicamente infectadas.

La fisonomía de la mastitis bovina va evolucionando en relación al grado de adopción de los esquemas de control, el nivel de intensificación del rodeo y los cambios demográficos en el tamaño de los mismos, entre otros (Bradley, 2002; Ruegg, 2017). Es así que ha tomado relevancia el predominio de microorganismos de tipo ambiental sobre los de tipo contagioso, asociado a la emergencia de una mayor frecuencia de MC con cuadros de menor duración pero más severos. Esto ha llevado a pensar el control de esta enfermedad de una manera más holística, dado que, en la actualidad, el rol que juega el medio ambiente es mucho más significativo (Oliveira *et al.*, 2013).

En este marco, estos cambios en la fisonomía de la mastitis, motivaron la ampliación de los puntos de control de cinco a diez (National Mastitis Council, 2016), con el objeto de incorporar estrategias para prevenir y controlar la mastitis producida por patógenos ambientales. Tales medidas incluyen, entre otras, el mantenimiento de un ambiente seco y confortable para las vacas y el monitoreo regular del estatus sanitario de la GM.

A pesar de la implementación de dichas prácticas de manejo, esta enfermedad sigue siendo una entidad desafiante para el ganado lechero, lo que implica la incorporación de nuevas estrategias de control. Como básicamente es una enfermedad infecciosa, los investigadores se han enfocado en mejorar los mecanismos naturales de defensa de las vacas mediante el desarrollo de métodos alternativos como son las vacunas, inmunomoduladores y microorganismos probióticos (Pereira *et al.*, 2011; Dallard *et al.*, 2013; Frola *et al.*, 2013), en pos de reducir, a su vez, los niveles de residuos de antibióticos en los productos lácteos. En este sentido, en las últimas décadas se han desarrollado numerosas vacunas contra diversos patógenos para aumentar la resistencia del rodeo y reducir los efectos clínicos de la mastitis (Pereira *et al.*, 2011; Schukken *et al.*, 2014).

Los productores pueden esperar que estas vacunas reduzcan la gravedad y la frecuencia de la mastitis, prevengan nuevas infecciones y eliminen las infecciones ya existentes (Yancey, 1993). Dada la complejidad de la patogenia de esta enfermedad, resulta ambicioso esperar que una vacuna cubra todos estos aspectos. Las dificultades en el desarrollo de una vacuna contra la mastitis son múltiples. Las mismas están relacionadas con la gran cantidad de microorganismos involucrados en la patología, la complejidad y variación de los factores de virulencia y de evasión de los mecanismos de defensa de la



ubre, y el limitado conocimiento de las respuestas inmunes adaptativas de la GM (Sordillo, 2011; Mata, 2013). Actualmente, existen formulaciones de vacunas monovalentes o multivalentes disponibles comercialmente. Es importante destacar que el desarrollo y la extensa implementación de vacunas con antígenos de bacterias coliformes han logrado reducir la incidencia y la severidad de los cuadros clínicos así como la mortalidad por mastitis debida a estos microorganismos (LeBlanc *et al.*, 2006). En contraste, la eficacia alcanzada por la mayoría de las vacunas contra IIM desarrolladas por *S. aureus* ha sido relativamente baja, por lo que la ventaja de su aplicación como método preventivo y de control de la mastitis aún no es concluyente (Mata, 2013).

Economía de la salud mamaria

El costo económico total de la mastitis, así como de cualquier otra enfermedad, está constituido por dos componentes básicos: por un lado, las pérdidas debidas a dicha enfermedad, ya sean directas o indirectas (menor producción de leche, fallas reproductivas, muerte) y por el otro, los gastos en prevención y control de la misma (antibióticos, sellador, etc.). Los gastos son los insumos adicionales necesarios para reducir las pérdidas debidas a mastitis, existiendo una relación inversa entre ambos componentes (Rushton, 2009). El nivel óptimo de control de la enfermedad es aquel en donde una unidad adicional de dinero destinado a medidas preventivas o de control retorna una cantidad igual de dinero debido a la reducción de las pérdidas por la enfermedad. En este punto, los costos evitables son iguales a cero, mientras que el costo total (pérdidas + gastos) es mínimo (McInerney *et al.*, 1992).

Determinar el impacto económico de las enfermedades animales resulta bastante complejo, porque sus efectos: (a) no siempre son obvios y pronunciados, (b) se encuentran influidos por otros factores como la nutrición y el alojamiento, (c) tienen una dimensión temporal, y (d) a menudo se manifiestan en una compleja asociación con otras enfermedades (Ngategize y Kaneene, 1985).

La elección de los métodos económicos para realizar un análisis particular, a su vez, está afectada por factores tales como: (a) la naturaleza del problema (incluyendo el nivel económico involucrado); (b) la complejidad del sistema a analizar (la enfermedad y sus efectos); (c) la disponibilidad de datos sobre el problema; (d) el uso que se le dará a los resultados obtenidos, y; (e) la disponibilidad de recursos (tiempo, dinero y herramientas de análisis) (Bennett, 1992).



Existen numerosos estudios en la literatura científica que se han abocado a estimar el impacto económico de la mastitis. Sin embargo, la comparación entre ellos frecuentemente no es factible. Se debe tener en cuenta que los costos por mastitis varían de un país a otro, y aún, de un establecimiento a otro dentro del mismo país. Además, dichos costos no permanecen constantes a lo largo del tiempo. En efecto, el precio de la leche, las bonificaciones o penalizaciones, los costos alimentarios, los precios de la reposición y de las vacas de descarte así como de los medicamentos o el nivel de intervención del veterinario, son aspectos que alteran los cálculos de valoración de pérdidas (Halasa *et al.*, 2007). Por otra parte, existen diferencias en la metodología empleada al realizar los cálculos económicos, en los niveles involucrados (país, región, establecimiento, etc.), en los grupos de animales y en los efectos de la enfermedad contemplados en el análisis (Halasa *et al.*, 2007; Rushton, 2009).

Las técnicas utilizadas para analizar la información y evaluar estrategias de control de los programas de salud en rodeos son numerosas. Las mismas se clasifican de diversas maneras, y a su vez, algunas de ellas pueden ser combinadas o integradas como partes de otras. Dentro de estas técnicas se encuentran las siguientes:

1) El **análisis de decisiones**: Es un método explícito y cuantitativo que, ante un problema de decisión concreto, permite estimar cuál es la mejor alternativa entre las diversas opciones planteadas. De esta manera, la toma de decisiones complejas puede ser evaluada más fácilmente (Ngategize *et al.*, 1986).

Dentro de este método, el más utilizado probablemente en el campo de la veterinaria es el **Árbol de Decisión**, el que expresa, de forma gráfica, analítica y en orden cronológico, las acciones alternativas disponibles y los eventos (sucesos) que pueden surgir a partir de una decisión asumida en cierto momento (Dijkhuizen *et al.*, 1995). Este tipo de análisis ha sido utilizado exitosamente en la evaluación de la toma de decisiones económicas para el tratamiento de diversas enfermedades (Ruegg y Carpenter, 1989; Dorshorst *et al.*, 2006) entre ellas, la mastitis (Pinzón-Sánchez *et al.*, 2011).

2) La **programación dinámica**: Es una clase general de técnicas matemáticas que no tiene una formulación estándar. Se utiliza para la solución de problemas matemáticos en los cuales se toma una serie de decisiones en forma secuencial. Proporciona un procedimiento sistemático para encontrar la combinación de decisiones que maximice la efectividad total. En el campo de la economía de la salud animal, la programación dinámica ha sido utilizada, por ejemplo, para investigar el impacto financiero de las

decisiones de control de la mastitis en sistemas de producción lechero (Yalcin y Stott, 2000).

3) El **análisis de costo-beneficio**: Es un procedimiento para determinar la rentabilidad de programas, como los de control de enfermedades, durante un período prolongado de tiempo (James, 1987). Los costos y beneficios futuros se 'descuentan' para que los montos que ocurren en diferentes puntos del tiempo sean completamente comparables. Los resultados de un análisis de costo-beneficio pueden ser expresados como Valor Presente Neto (beneficios netos descontados), Razón Beneficio-Costo (razón entre el valor presente del beneficio bruto y el valor presente de los costos incurridos) y Tasa Interna de Rendimiento (la tasa de interés que debería cobrarse para reducir el Valor Presente Neto a cero). El enfoque costo-beneficio ha sido el más ampliamente utilizado en los programas de control a nivel nacional que compiten por los mismos fondos financieros (Dijkhuizen *et al.*, 1991).

4) El **presupuesto parcial (PP)**: Es un método que se utiliza para evaluar si la adopción de estrategias de control en establecimientos individuales es económicamente viable. Generalmente se utiliza en comparaciones económicas simples, donde el cálculo no involucra ni un patrón de tiempo específico ni un grado de azar determinado (es decir, no es ni dinámico ni estocástico). Consiste en una simple cuantificación de las consecuencias económicas de un cambio específico en el procedimiento de manejo del establecimiento (por ejemplo, la adopción de terapia de todas las vacas al secado para controlar la mastitis) y requiere de una sencilla colecta de datos para llevarlo a cabo (Dijkhuizen *et al.*, 1995). La PP tiene cuatro componentes principales: (i1) Ingresos adicionales obtenidos por el cambio; (c1) costos reducidos como resultado de dicho cambio; (i2) ingresos suprimidos tras el cambio; y (c2) costos adicionales por la implementación de dicho cambio. Si $(i1+c1) > (i2+c2)$, el cambio propuesto está justificado (Rushton., 2009). Existen en la literatura científica, numerosos estudios relacionados a la mastitis en los que se ha utilizado el análisis de PP (DeGraves y Fetrow, 1991; Allore y Erb, 1998; Swinkles *et al.*, 2005).

5) Las **cadena de Markov**: Son una serie de eventos, en la cual la probabilidad de que ocurra un suceso depende del evento inmediato anterior. Se utilizan para modelar la evolución de sistemas o procesos durante ensayos repetidos o períodos de tiempo sucesivos. En economía de la salud animal, las cadenas de Markov se suelen simplificar para hacer cálculos donde las unidades bajo consideración (animales o rodeos) pueden existir bajo una serie de estados mutuamente exclusivos, y las probabilidades se pueden



especificar para los cambios en las unidades que se transfieren de un estado a otro (James, 1977). Esto requiere conocimiento de las probabilidades de transición y del número de animales o rodeos en cada estado. Esta técnica se ha utilizado en numerosos estudios para el análisis de enfermedades contagiosas, incluyendo a la mastitis (Detilleux, 2011), en donde los estados considerados son, generalmente, susceptibles, infectados, inmunes y eliminados.

6) La **simulación de sistemas**: Esta técnica cuantitativa representa un intento de emular condiciones de la vida real utilizando modelos sencillos a lo largo del tiempo, apoyada en herramientas matemáticas y computacionales.

El concepto fundamental que subyace a la estructura de tales modelos es que los individuos dentro de un rodeo son 'movidos' hacia adelante a través del tiempo, modificando el estado de cada uno de acuerdo con el resultado de diversos eventos y decisiones de gestión. Estos eventos y efectos de las decisiones se pueden caracterizar de manera estocástica, es decir, como muestras aleatorias en distribuciones de probabilidad apropiadas en lugar de valores fijos (los métodos de simulación Monte Carlo involucran el uso de número aleatorios aplicados a distribuciones de probabilidad para simular el mundo real). Tal procedimiento produce una dispersión en los resultados sobre una serie de cálculos, lo que refleja de una manera más conveniente la variabilidad biológica normal. Esta técnica es muy útil, ya que facilita la representación de los procesos, evolución y resultados en un ambiente de recursos escasos o dispersos, y en donde, por ejemplo, los experimentos en la vida real serían imposibles de llevar a cabo, ya sea por su complejidad, por problemas éticos, por su costo o por ser disruptivos (por ejemplo, en enfermedades altamente infecciosas). Otra de las ventajas de su uso es que permite explorar, por ejemplo, estrategias que aún no han sido aplicadas (Dijkhuizen *et al.*, 1995).

Existen muchos tipos, clasificaciones y utilidades de modelos matemáticos, dentro de los cuales, los llamados “modelos bioeconómicos” buscan integrar aspectos económicos con procesos biológicos dinámicos, como lo son las enfermedades. Con el propósito de simular el efecto de la mastitis y evaluar cursos de acción en el control, se han desarrollado, en las últimas décadas, numerosos modelos contemplando diferentes enfoques tales como procesos de Markov, simulaciones de eventos discretos o ecuaciones diferenciales (Allore y Erb, 1998; Seegers *et al.*, 2003; Ostergaard *et al.*, 2005; Hagnestam-Nielsen y Ostergaard, 2009; Halasa *et al.*, 2009; Geary *et al.*, 2012; Halasa,



2010; Gussmann *et al.*, 2018), aunque no existen antecedentes de desarrollo equivalentes para sistemas de producción nacional.

Toma de decisiones en programas de salud mamaria

Las técnicas mencionadas anteriormente permiten, desde perspectivas diferentes, efectuar un análisis económico de las enfermedades animales, cuyo principal propósito es constituir un soporte en la toma de decisiones para optimizar el manejo de la salud animal (Dijkhuizen *et al.*, 1995).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el proceso de toma de decisiones no es estrictamente racional. A partir de estudios de comportamiento económico se determinó que, al momento de hacer una elección, no todas las alternativas son conocidas, ni las consecuencias consideradas ni las preferencias evocadas al mismo momento (Tversky y Fox, 1995). Las decisiones están influidas por factores inconscientes y emocionales, creencias y percepciones personales. Existen estudios relacionados a los diferentes factores de motivación de los productores al momento de la toma de decisiones sobre la mejora en el manejo de la mastitis (Tarabla y Dodd, 1990; Jansen *et al.*, 2009; Lam *et al.*, 2013). Aparte de las pérdidas económicas debidas a esta enfermedad en sí, se citan, entre otros factores, la satisfacción por el trabajo, la conciencia sobre el bienestar animal, la situación general del establecimiento, la facilidad para cumplir con los requisitos reglamentarios, los incentivos en relación a los niveles de RCST (bonificaciones o penalizaciones), la calidad e imagen de los productos lácteos y el reconocimiento por el trabajo bien hecho (Valeeva *et al.*, 2007).

Es por esto que al evaluar el grado de adopción de un programa integral de control, deben considerarse, además de los aspectos económicos, los factores humanos involucrados en la toma de decisiones.



OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general de este trabajo está dirigido a profundizar el conocimiento sobre aspectos técnicos, epidemiológicos y económicos del impacto de la mastitis bovina y su control en rodeos lecheros de nuestra región.

Objetivos Específicos:

Dichos objetivos corresponden a los diferentes estudios contemplados en el segundo, tercero, cuarto y quinto capítulo de la tesis y fueron los siguientes:

- I. Estimar la relación entre la aplicación de buenas prácticas de manejo dirigidas a mejorar la salud mamaria y el recuento de células somáticas en tanque, y su impacto económico diferencial en establecimientos de la cuenca lechera de Villa María.
- II. Caracterizar la variación de la prevalencia e incidencia de mastitis clínica, los factores de riesgo asociados y el impacto económico en rodeos lecheros con buenos estándares de calidad de leche en tanque y que aplican regularmente un plan de salud mamaria convencional.
- III. Evaluar la eficacia de una vacuna contra la mastitis bovina producida por *Staphylococcus aureus* en un ensayo de campo y los aspectos relacionados a la factibilidad económica de la implementación del programa de inmunización en el tambo.
- IV. Evaluar diferentes estrategias de control de la mastitis bovina a *Staphylococcus aureus* mediante el desarrollo de un modelo matemático que pronostique el efecto biológico y económico de la enfermedad en rodeos lecheros.



Hipótesis de la investigación

- I. Aquellos tambos en donde se aplican rutinariamente medidas de control de la mastitis presentan menores niveles de recuento de células somáticas en tanque y esto se traduce en diferencias sobre el impacto económico de la mastitis subclínica.
- II. Se observa una gran disparidad en la prevalencia e incidencia de la mastitis clínica entre predios con buenos estándares de calidad de leche en tanque y que aplican regularmente un plan de salud mamaria convencional.
- III. Con la aplicación de un esquema de inmunización con la vacuna formulada con la cepa *Staphylococcus aureus* RC122 en vacas antes del parto, se obtiene una respuesta inmune efectiva que conlleva a una disminución de las tasas de nuevas infecciones y a una reducción de la respuesta inflamatoria de la glándula mamaria.
- IV. Mediante un modelo de simulación bioeconómico de la mastitis desarrollado para testear la aplicación de diversas estrategias de control de la enfermedad, se determina que la implementación de los cinco puntos de control para la mastitis de origen contagioso es económicamente eficiente.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Åkerstedt M., Persson Waller K. Sternesjö A. (2007). Haptoglobin and serum amyloid A in relation to the somatic cell count in quarter, cow-composite and bulk-tank milk samples. *J Dairy Res* 74: 198-203.
- Allore HG, Erb HN. (1998). Partial budget of the discounted annual benefit of mastitis control strategies. *J Dairy Sci* 81: 2280-2292.
- Barkema HW, Schukken YH, Lam TJGM, Galligan DT, Beiboer ML, Brand A. (1997). Estimation of interdependence among quarters of the bovine udder with subclinical mastitis and implications for analysis. *J Dairy Sci* 80: 1592–1599.
- Barkema HW, Schukken YH, Lam TJ, Beiboer ML, Wilmink H, Benedictus G, Brand A. (1998). Incidence of clinical mastitis in dairy herds grouped in three categories by bulk-milk somatic cell counts. *J Dairy Sci* 81: 411–419.
- Barkema HW, De Vlieghe S, Piepers S, Zadoks RN. (2013). Herd level approach to high bulk milk somatic cell count problems in dairy cattle. *Vet Q* 33: 82–93. <https://doi.org/10.1080/01652176.2013.799791>.
- Barker, R. M. y Yang, T. J. 1998. Chemotactic activities in nonmastitic and mastitic mammary secretions: Presence of interleukin-8 in mastitic but not nonmastitic secretions. *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology* 5: 82–8.
- Barnouin J, Chassagne M, Bazin S, Boichard D. (2004). Management practices from questionnaire surveys in herds with very low somatic cell score through a national mastitis program in France. *J Dairy Sci* 87: 3989–3999.
- Bennedsgaard TW, Enevoldsen C, Thamsborg SM, Vaarst M. (2003). Effect of mastitis treatment and somatic cell counts on milk yield in Danish organic dairy cows. *J Dairy Sci* 86: 3174–3183.
- Bennett RM. (1992). The use of 'economic' quantitative modelling techniques in livestock health and disease-control decision making: a review. *Prev Vet Med* 13: 63–76.
- Bogni CI, Odierno LM, Raspanti C, Giraudo JA, Larriestra AJ, Reinoso E, Lasagno M, Ferrari M, Ducrós E, Frigerio C, Bettera S, Pellegrino M, Frola I, Dieser S, Vissio C. (2011). *War against mastitis: Current concepts on controlling bovine mastitis pathogens*. In: Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances. Microbiology book series N°3(1). A. Méndez Vilas. (pp. 483–494).



- Bradley A. (2002). Bovine Mastitis: An evolving disease. *Vet J* 164: 116–128.
- Bramley A, Cullor J, Erskine R, Fox L, Harmon R, Hogan J, Nickerson S, Oliver S, Larry Smith K, Sordillo L. (2003). *Current concepts of bovine mastitis*. (4ta ed.). 421 S. Nine Mound Rd. Verona, WI: National Mastitis Council Publications.
- Dallard BE, Pujato SA, Baravalle C, Pereyra EAL, Rey F, Renna MS, Calvino LF. (2013). Intramammary infusion of Panax ginseng extract in the bovine mammary gland at cessation of milking modifies components of the insulin-like growth factor system during involution. *Res Vet Sci* 94: 462–470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.01.009>.
- De Haas Y, Veerkamp RF, Barkema HW, Gröhn YT, Schukken YH. (2004). Associations between pathogen-specific cases of clinical mastitis and somatic cell count patterns. *J Dairy Sci* 87: 95–105.
- DeGraves FJ, Fetrow J. (1991). Partial budget analysis of vaccinating dairy cattle against coliform mastitis with an Escherichia coli J5 vaccine. *J Am Vet Med Assoc* 199: 451–455.
- Detelliux, J. (2011). A hidden Markov model to predict early mastitis from test-day somatic cells scores. *Animal* 5: 175–181. DOI: 10.1017/S1751731110001746.
- Dieser SA, Vissio C, Lasagno M, Bogni CI, Larriestra AJ, Odierno LM. (2013). Prevalence of pathogens causing subclinical mastitis in Argentinean dairy herds. *Pak Vet J* 34: 124–126.
- Dijkhuizen AA, Renkema JA, Stelwagen J. (1991). Modelling to support animal health control. *Agric Econ* 5: 263–277.
- Dijkhuizen AA, Huirne RBM, JalvinghAW. (1995). Economic analysis of animal diseases and their Control. *Prev Vet Med* 25: 135–149.
- Djabri B, Barielle N, Beaudeau F, Seegers H. (2002). Quarter milk somatic cell count in infected dairy cows: a metaanalysis. *Vet Res* 33: 335–357.
- Dohoo IR. (2001). *Setting SCC cutpoints for cow and herd interpretation*. In: National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings.
- Dorshorst NC, Collins MT, Lombard GE. (2006). Decision analysis model for paratuberculosis control in commercial dairy herds. *Prev Vet Med* 75: 92–122.
- Dürr JW, Cue RI, Monardes HG, Moro-Méndez J, Wade KM. (2008). Milk losses associated with somatic cell counts per breed, parity and stage of lactation in



- Canadian dairy cattle. *Livest Sci* 117: 225–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.12.004>.
- Emanuelson U, Oltenacu PA, Gröhn YT. (1993). Nonlinear mixed-model analyses of 5 production disorders of dairy-cattle. *J Dairy Sci* 76: 2765–2772.
- Erb HN, Smith RD, Oltenacu PA, Guard CL, Hillman RB, Powers PA, Smith MC, White ME. (1985). Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield, and culling in Holstein cows. *J Dairy Sci* 68: 3337–3349.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of United Nations). (2016). FAO: Roma. Agricultural data. Recuperado el 16 de agosto de 2016 en <http://apps.fao.org>.
- Fetrow J, Stewart S, Eicker S, Farnsworth R, Bey R. (2000). *Mastitis: An economic consideration*. In: National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings. (pp 3–47).
- Fetrow J, Nordlund KV, Norman HD. (2006). Invited Review: Culling: Nomenclature, Definitions. *J Dairy Sci* 89: 1896–1905.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029912000581>.
- Frola ID, Pellegrino MS, Magnano G, Giraud JA, Espeche MC, Nader-Macías MEF, Bogni CI. (2013). Histological examination of non-lactating bovine udders inoculated with *Lactobacillus perolens* CRL 1724. *J Dairy Res* 80: 28–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029912000581>.
- Gröhn YT, Erb HN, McCulloch CE, Saloniemi HS. (1990). Epidemiology of mammary gland disorders in multiparous Finnish Ayrshire cows. *Prev Vet Med* 8: 241–252.
- Gröhn YT, Wilson DJ, González NR, Hertl JÁ, Schulte H, Bennett G, Schukken YH. (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 3358–3374.
- Gussmann M, Steeneveld W, Kirkeby C, Hogeveen H, Nielsen M, Farre M, Halasa T. (2018). Economic and epidemiological impact of different intervention strategies for clinical contagious mastitis. *J Dairy Sci* 102: 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14939>.
- Halasa T, Huijps K, Østerås O, Hogeveen H. (2007). Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Vet Q* 29: 18–31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01652176.2007.9695224>.
- Hamann J. (2005). *Diagnosis of mastitis and indicators of milk quality*. In: Hogeveen, H. (ed.). 4th IDF International Dairy Conference Proceedings: Mastitis in Dairy



- Production - Current Knowledge and Future Solutions. Wageningen: Wageningen Academic Publishers. (pp. 82–90).
- Harmon RJ. (1994). Symposium - Mastitis and genetic evaluation for somatic cell count - Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *J Dairy Sci* 77: 2103-2112.
- Hertl JA, Gröhn YT, Leach JDG, Bar D, Bennett GJ, González RN, Rauch BJ, Welcome FL, Tauer LW, Schukken YH. (2010). Effects of clinical mastitis caused by gram-positive and gram-negative bacteria and other organisms on the probability of conception in New York State Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 93: 1551–1560. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2599>.
- Hertl JA, Schukken YH, Welcome FL, Tauer LW, Gröhn YT. (2014). Pathogen-specific effects on milk yield in repeated clinical mastitis episodes in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 97: 1465–1480. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7266>.
- Hillerton JE, Berry EA. (2005). A review: Treating mastitis in the cow—a tradition or an archaism. *J Appl Microbiol* 98: 1250-1255.
- Hogeveen H, Huijps K, Lam TJGM. (2011). Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zeal Vet J* 59: 16–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>.
- Houben EHP, Dijkhuizen AA, Van Arendonk JAM, Huirne RBM. (1993). Short- and long-term production losses and repeatability of clinical mastitis in dairy cattle. *J Dairy Sci* 76: 2561–2578.
- Hortet P, Seegers H. (1998). Calculated milk production losses associated with elevated somatic cell counts in dairy cows: review and critical discussion. *Vet Res* 29: 497–510.
- Hortet P, Beaudeau F, Seegers H, Fourichon C. (1999). Reduction in milk yield associated with somatic cell counts up to 600 000 cells/ml in French Holstein cows without clinical mastitis. *Livest Prod Sci* 61: 33–42.
- Huijps K. (2009). *Economic decisions in mastitis management*. Tesis Doctoral. Faculty of Veterinary Medicine. Utrecht University, the Netherlands. (pp. 1–156).
- Jain NC. (1979). Common mammary pathogens and factors in infection and mastitis. *J Dairy Sci* 62: 128–134
- James AD. (1977). Models of animal health problems. *Agric Syst* 2: 183–187.



- Jansen J, van den Borne BHP, Renes RJ, van Schaik G, LAM TJGM, Leeuwis C. (2009). Explaining mastitis incidence in Dutch dairy farming: The influence of farmers' attitudes and behaviour. *Prev Vet Med* 92: 210–223.
- Juozaitiene V, Juozaitis A. (2005). The influence of somatic cell count in milk on reproductive traits and production of Black-and-White cows. *Vet Arhiv* 75: 407–414.
- Kehrli ME Jr, Shuster DE. (1994). Factors affecting milk somatic cells and their role in health of the bovine mammary gland. *J Dairy Sci* 77: 619–627.
- Kvapilik J, Hanus O, Syrucek J, Vyletelova – Klimesova M, Roubal P. (2014). The economic importance of the losses of cow milk due to mastitis: a meta-analysis. *Bulg J Agric Sci* 20: 1483–1497.
- Lam TJGM, Dejong MCM, Schukken YH, Brand A. (1996). Mathematical modeling to estimate efficacy of postmilking teat disinfection in split-udder trials of dairy cows. *J Dairy Sci* 79: 62–70.
- Lam TJGM, Schukken YH, van Vliet JH, Grommers FJ, Tielen MJ, Brand A. (1997). Effect of natural infection with minor pathogens on susceptibility to natural infection with major pathogens in the bovine mammary gland. *Am J Vet Res* 58: 17–22.
- Lam TJGM, van den Borne BHP, Jansen J, Huijps K, van Veersen JCL, van Schaik G, Hogeveen H. (2013). Improving bovine udder health: a national mastitis control program in the Netherlands. *J Dairy Sci* 96: 1301–11.
- Lavon Y, Ezra E, Leitner G, Wolfenson D. (2011). Association of conception rate with pattern and level of somatic cell count elevation relative to time of insemination in dairy cows. *J Dairy Sci* 94: 4538–4545.
- LeBlanc SJ, Lissemore KD, Kelton DF, Duffield TF, Leslie KE. (2006). Major advances in disease prevention in dairy cattle. *J Dairy Sci* 89: 1267–1279.
- Leitner G, Chaffer M, Krifucks O, Glickman A, Ezra E, Saran A. (2000). Milk leucocyte populations in heifers free of udder infection. *J Vet Med B Infect Dis Vet Public Health* 47: 133–138.
- Lindmark-Mansson H, Branning C, Alden G, Paulsson M. (2006). Relationship between somatic cell count, individual leucocyte populations and milk components in bovine udder quarter milk. *Int Dairy J* 16: 717–727.



- Mata F. (2013). Mastitis vaccination in dairy cattle: a meta-analysis of field case-control trials. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 108: 17–22.
- McInerney JP, Howe KS, Schepers JA. (1992). A framework for the economic analysis of disease in farm livestock. *Prev Vet Med* 13: 137–154.
- Mellado M, García JE, Véliz Deras FG, de Santiago MA, Mellado J, Gaytán LR, Ángel-García O. (2018). The effects of periparturient events, mastitis, lameness and ketosis on reproductive performance of Holstein cows in a hot environment. *Austral J Vet Sci* 50: 1–8.
- Miller RH, Norman HD, Wiggans GR, Wright JR. (2004). Relationship of test-day somatic cell score with test-day and lactation milk yields. *J Dairy Sci* 87: 2299–2306.
- Moore DA, Cullor JS, BonDurant RH, Sisco WM. (1991). Preliminary field evidence for the association of clinical mastitis with altered interestrus intervals in dairy cattle. *Theriogenology* 36: 257–265.
- Moore DA, O'Connor ML. (1993). *Coliform mastitis: its possible effects on reproduction in dairy cattle*. In: National Mastitis Council Proceedings, Kansas City. (pp. 162–166).
- Nava-Trujillo H, Soto-Belloso E, Hoet AE. (2010). Effects of clinical mastitis from calving to first service on reproductive performance in dual-purpose cows. *Anim Reprod Sci* 121: 12–16.
- Neave FK, Dodd FH, Kingwill RG, Westgarth DR. (1969). Control of mastitis in the dairy herd by hygiene and management. *J Dairy Sci* 52: 696–707.
- Ngategize PK, Kaneene JB. (1985). Evaluation of the impact of the animal diseases on production: a review. *Vet Bull* 55: 153–162.
- Nielsen C. (2009). *Economic impact of mastitis in dairy cows*. Tesis doctoral. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science. Department of Animal Breeding and Genetics. Uppsala, Sweden. (pp. 1–81).
- National Mastitis Council (NMC). Recommended mastitis control program. Recuperado el 25 de octubre de 2017 en <http://www.nmconline.org/wp-content/uploads/2016/08/RECOMMENDEDMASTITIS-CONTROL-PROGRAM-International.pdf>.
- OCDE-FAO. (2017). *Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2016-2025*. OCDE: París y FAO: Roma. Recuperado el 16 de agosto de 2017 en <http://apps.fao.org>.



- OCLA (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina). (2019). Recuperado el 12 de julio de 2019 en <http://www.ocla.org.ar>.
- Oliveira L, Hulland C, Ruegg PL. (2013). Characterization of clinical mastitis occurring in cows on 50 large dairy herds in Wisconsin. *J Dairy Sci* 96: 7538–7549. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6078>.
- Østerås O. (2000). *The cost of mastitis- an opportunity to gain more money*. In: British Mastitis Conference Proceedings. (pp. 67–77).
- Østerås O. (2006). *Mastitis epidemiology: practical approaches and applications*. World Buiatrics Congress. Nice, France.
- Østergaard S, Gröhn YT. (1999). Effects of diseases on test day milk yield and body weight of dairy cows from Danish research herds. *J Dairy Sci* 82: 1188–1201.
- Peeler EJ, Green MJ, Fitzpatrick JL, Morgan KL, Green LE. (2000). Risk factors associated with clinical mastitis in low somatic cell count British dairy herds. *J Dairy Sci* 83: 2464–2472.
- Pereira UP, Oliveira DGS, Mesquita LR, Costa GM, Pereira LJ. (2011). Efficacy of *Staphylococcus aureus* vaccines for bovine mastitis: A systematic review. *Vet Microbiol* 148: 117–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.10.003>.
- Persson Waller K, Westermarck T, Ekman T, Svennersten-Sjaunja K. (2003). Milk leakage – An increased risk in automatic milking systems. *J Dairy Sci* 86: 3488–3497.
- Petrovski KR, Trajcev M, Buneski G. (2006). A review of the factors affecting the costs of bovine mastitis. *Jl S Af Vet Ass* 77: 52–60.
- Philpot WN. (1998). *Today's challenge to meet tomorrow's needs*. In: Panamerican Congress on Mastitis Control and Milk Quality Proceedings. Mérida, México. (pp 12–21).
- Pinzón-Sánchez C, Cabrera VE, Ruegg PL. (2011). Decision tree analysis of treatment strategies for mild and moderate cases of clinical mastitis occurring in early lactation. *J Dairy Sci* 94: 1873–1892. DOI: [10.3168/jds.2010-3930](http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3930).
- Pyörälä S. (2003). Indicators of inflammation in the diagnosis of mastitis. *Vet Res* 34: 565–578. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2003026>.
- Rajala-Schultz PJ, Gröhn YT, McCulloch CE, Guard CL. (1999). Effects of clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 82: 1213–1220.
- Ruegg PL, Carpenter TE. (1989). Decision-tree analysis of treatment alternatives for left displaced abomasum. *J Am Vet Med Assoc* 195: 464–467.



- Ruegg PL. (2017). A 100-year review: Mastitis detection, management, and prevention. *J Dairy Sci* 100: 10381–10397.
- Rushton J. (2009). *The economics of Animal Health & Production*. Wallingford, UK: CABI. (pp 1–384).
- Saloniemi H. (1995). *Impact of the conformation of the cow on mastitis*. In: The bovine udder and mastitis. (Eds. Sandholm, M., Honkanen-Buzalski, T., Kaartinen, L. & Pyörälä, S.) University of Helsinki, Faculty of Medicine, Helsinki. (pp. 225–227).
- Sandholm M. (1995). *Detection of inflammatory changes in milk*. In: The bovine udder and mastitis. (Eds. Sandholm, M., Honkanen-Buzalski, T., Kaartinen, L. & Pyörälä, S.) University of Helsinki, Faculty of Medicine, Helsinki. (pp. 89–104).
- Sanford CJ, Keefe GP, Sanchez J, Dingwell RT, Barkema HW, Leslie KE, Dohoo IR. (2006). Test characteristics from latent-class models of the California Mastitis Test. *Prev Vet Med* 77: 96-108.
- Schepers JA, Lam TJGM, Schukken YH, Wilmink JBM, Hanekamp WJA. (1997). Estimation of variance components for somatic cell counts to determine thresholds for uninfected quarters. *J Dairy Sci* 80: 1833–1840.
- Schukken YH, Wilson DJ, Welcome F, Garrison-Tikofsky L, González RN. (2003). Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Vet Res* 34: 579–596. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2003028>.
- Schukken YH, Bronzo V, Locatelli C, Pollera C, Rota N, Casula A, Testa F, Scaccabarozzi L, March R, Zalduendo D, Guix R, Moroni P. (2014). Efficacy of vaccination on *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci intramammary infection dynamics in 2 dairy herds. *J Dairy Sci* 97: 1–15. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8008>
- Schwarz D, Diesterbeck US, Koenig S, Bruegemann K, Schlez K, Zschoeck M, Wolter W, Czerny CP. (2011a). Microscopic differential cell counts in milk for the evaluation of inflammatory reactions in clinically healthy and subclinically infected bovine mammary glands. *J Dairy Res* 78: 448–455.
- Schwarz D, Diesterbeck US, Koenig S, Bruegemann K, Schlez K, Zschoeck M, Wolter W, Czerny CP. (2011b). Flow cytometric differential cell counts in milk for the evaluation of inflammatory reactions in clinically healthy and subclinically infected bovine mammary glands. *J Dairy Sci* 94: 5033–5044.



- Seegers H, Fourichon C, Beaudeau F. (2003). Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet Res* 34: 475–491. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2003027>.
- Sharma N, Pandey V, Sudhan NA. (2010). Comparison of some indirect screening tests for detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Bulg J Vet Med* 13: 98-103.
- Sol J, Renkema JA. (1984). A three year herd health and management program on thirty Dutch dairy farms. I. Objectives, methods and main results. *Vet Q* 6: 141–148.
- Sordillo LM, Streicher KL. (2002). Mammary gland immunity and mastitis susceptibility. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* Apr 7: 135–46.
- Steenefeld W, Hogeveen H, Barkema HW, van den Broek J, Huirne RBM. (2008). The influence of cow factors on the incidence of clinical mastitis in dairy cows. *J Dairy Sci* 91: 1391–1402.
- Svensson C, Nyman AK, Waller KP, Emanuelson U. (2006). Effects of housing, management, and health of dairy heifers on first-lactation udder health in Southwest Sweden. *J Dairy Sci* 89: 1990–1999.
- Swinkels JM, Hogeveen H, Zadoks RN. (2005). Use of partial budgeting to determine the economic benefits of antibiotic treatment of chronic subclinical mastitis caused by *Streptococcus uberis* or *Streptococcus dysgalactiae*. *J Dairy Sci* 88: 4273–4287. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029904000603>.
- Tarabla HD, Dodd K. (1990). Associations between farmers' personal characteristics, management practices and farm performance. *Br Vet J* 146: 157–164.
- Tirante L, Gavidia M, Vissio C, Odierno L, Larriestra AJ. (2013). *Effect of clinical mastitis on milk production*. In: 52nd National Mastitis Council Meeting. San Diego, California.
- Tversky A, Fox CR. (1995). Weighing risk and uncertainty. *Psychol Rev* 102: 269–283.
- Valeeva NI, Lam TJGM, Hogeveen H. (2007). Motivation of dairy farmers to improve mastitis management. *J Dairy Sci* 90: 4466–4477. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0095>.
- Van Asseldonk MAPM, Renes RJ, Lam TJGM, Hogeveen H. (2010). Awareness and perceived value of economic information in controlling somatic cell count. *Vet Rec* 166: 263–267.
- Viguier C, Arora S, Gilmartin N, Welbeck K, O'Kennedy R. (2009). Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends Biotech* 27: 486–493.



- Vissio C, Bouman M, Larriestra AJ. (2018). Milking machine and udder health management factors associated with bulk milk somatic cell count in Uruguayan herds. *Prev Vet Med* 150: 110–116. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.12.011>.
- Yalçın C. (2000). Cost of mastitis in Scottish dairy herds with low and high subclinical mastitis problems. *Turk J Vet Anim Sci* 24: 465–472.
- Yalcin C, Stott AW. (2000). Dynamic programming to investigate financial impacts of mastitis control decisions in milk production systems. *J Dairy Res* 67: 515–528.
- Yancey RJ. (1993). Recent advances in bovine vaccine technology. *J Dairy Sci* 76: 2418–436.
- Zadoks RN, Allore HG, Barkema HW, Sampimon OC, Wellenberg GJ, Gröhn JT, Schukken YH. (2001). Cow- and quarter-level risk factors for *Streptococcus uberis* and *Staphylococcus aureus* mastitis. *J Dairy Sci* 84: 2649–2663.
- Zadoks R, Fitzpatrick J. (2009). Changing trends in mastitis. *Ir Vet J* 62: 59–70.
- Zhao X, Lacasse P. (2008). Mammary tissue damage during bovine mastitis: causes and control. *J Anim Sci* 86: 57–65.



Capítulo II

Implicancias económicas de buenas prácticas dirigidas a promover bajos recuentos en tanque en establecimientos de la cuenca lechera de Villa María, Córdoba



RESUMEN

El beneficio de la adopción de buenas prácticas para promover la salud mamaria varía según países y regiones. En la cuenca de Villa María, se ha reportado recientemente la existencia de dos conglomerados de productores en base al programa de salud mamario aplicado. Los objetivos de este trabajo fueron estimar la relación de las buenas prácticas sobre el recuento celular en tanque y el impacto económico diferencial entre tambos que difieren en la aplicación de dichas prácticas. Un grupo de productores que aplica rutinariamente terapia de secado, sellado posordeño y prueba del despunte (Grupo BP: 17 tambos), fue comparado con otro que no emplea de forma sistemática tales medidas (Grupo MP: 15 tambos). En el término de un año, se evaluó el recuento celular en tanque mensual de cada tambo. Diferencias en dicho recuento entre los grupos BP y MP fueron evaluadas mediante un modelo de medidas repetidas. Considerando el total de vacas en ordeño, la producción diaria y el recuento celular en tanque, se dedujeron las pérdidas productivas por mastitis subclínica para ambos conglomerados, expresadas en promedio de dólares por vaca. Estas pérdidas pueden calcularse como el porcentaje de la producción esperada comparada con la producción cuando el recuento celular en tanque es de 200.000 cél/mL. El grupo BP evidenció un promedio de recuento celular en tanque significativamente inferior a lo largo de todo el año (media grupo BP: 297.000/mL; media grupo MP: 389.000/mL). La diferencia en las pérdidas monetarias promedio entre ambos grupos fue de US\$ 0,48/vaca/mes, con una diferencia máxima de US\$ 1,27 (US\$ 0,27 para el grupo BP y US\$ 1,54 para el grupo MP) y mínima de US\$ 0,08 (US\$ 0,39 y US\$ 0,47). La diferencia acumulada en el año fue de US\$ 5,77/vaca. Las estimaciones de la efectividad y los beneficios de la aplicación de buenas prácticas sobre el recuento celular en tanque bajo nuestras condiciones de producción son de relevancia para evaluar la factibilidad del control. Estos resultados aportan información para la toma de decisiones y la adopción de programas dirigidos a mejorar los estándares de salud mamaria en pequeños y medianos productores.



INTRODUCCIÓN

La mastitis bovina es una enfermedad endémica multifactorial en los establecimientos lecheros de todo el mundo que causa graves problemas económicos (Halasa *et al.*, 2007; Hogeveen *et al.*, 2011). Las últimas investigaciones nacionales, han revelado pérdidas próximas a 1 dólar/vaca/día, con mermas promedio en la producción de aproximadamente el 14% de los ingresos brutos diarios de los tambos analizados (Vissio *et al.*, 2015).

El estudio de la mastitis subclínica (MSC) es de gran importancia, ya que la misma puede ser 15 a 40 veces más prevalente que la forma clínica (Philpot, 1998) y, a su vez, las pérdidas directas asociadas a ella son invisibles, lo que hace que el productor subestime el efecto de esta forma de la enfermedad (Rushton, 2009; van Asseldonk *et al.*, 2010).

Para evaluar la MSC en tambo, un indicador de fácil acceso es el recuento de células somáticas en tanque (RCST). Si bien éste ha sido utilizado principalmente como un parámetro de calidad por parte de los procesadores de productos lácteos, también es relevante su uso en investigaciones relacionadas al manejo de la salud de la ubre y estrategias de control de la mastitis (Goodger *et al.*, 1993; Faye *et al.*, 1994; Barkema *et al.*, 1998, 1999; Tadich *et al.*, 2003; De Vlieghe *et al.*, 2004). Al interpretar los niveles de RCST, debe tenerse en cuenta que un aumento del mismo puede ser causado por un número reducido de vacas con altos niveles de RCS, y si bien no aporta información sobre la variabilidad de los recuentos entre vacas, es una herramienta fácilmente disponible y frecuentemente utilizada para resumir la situación de la MSC a nivel de rodeo y estimar las pérdidas de leche asociadas a ella (Dohoo y Meek, 1982; Eberhart *et al.*, 1982; Kvapilík *et al.*, 2014).

Estudios previos demostraron que la prevalencia de las infecciones intramamarias (IIM) es la mayor determinante de los niveles de RCST, siendo de menor importancia, otros factores tales como la distribución de edad o el estadio de lactación de las vacas y el clima (Eberhart *et al.*, 1979; Reneau, 1986). Existe, a su vez, una elevada y significativa correlación negativa entre el RCST y los índices de producción del rodeo. En este sentido, una revisión sistemática de estudios europeos, reveló y actualizó la relación cuantitativa que existe entre los elevados RCST, los menores niveles de producción y la creciente tasa de nuevas infecciones mamarias (Kvapilík *et al.*, 2014). De modo que, medidas de manejo



eficaces en el control de la mastitis tienen su correlato con la reducción del RCST, y están asociadas al incremento de la producción de leche y grasa butirosa (Eberhart *et al.*, 1982).

Siendo la mastitis, en gran medida, una enfermedad de manejo, la adopción de buenas prácticas (BP) en la rutina de ordeño es una de las herramientas más importantes para el control de esta enfermedad. Desde la introducción del programa de prevención estándar de Neave *et al.* (1969) (“Plan de los Cinco Puntos”), enormes progresos han sido reportados en la reducción de la prevalencia de las IIM y del promedio del RCST (Barkema *et al.*, 2013).

A nivel mundial, existe una extensa bibliografía abocada al análisis de la asociación entre el nivel de RCST y las medidas de manejo de los rodeos (Goodger *et al.*, 1993; Faye *et al.*, 1997; Barkema *et al.*, 1998; Rodrigues *et al.*, 2005; Wenz *et al.*, 2007; Kelly *et al.*, 2009; Schewe *et al.*, 2015), siendo los estudios relacionados en este aspecto muy escasos en América Latina (Tadich *et al.*, 2003; Van Schaik *et al.*, 2005; Vissio *et al.*, 2013, 2018; Reyes *et al.*, 2017). Dufour *et al.* (2011) realizaron una revisión sistemática de 36 publicaciones relacionadas al manejo de la salud mamaria y de la máquina de ordeño, en donde se demostró una consistente asociación entre los niveles de RCST y, el sellado posordeño, el uso de guantes, la presencia de removedores de pezonera automáticos, el ordeño de vacas con mastitis al final de la rutina y la terapia antibiótica al secado de todas las vacas del rodeo. Por su parte, en un estudio reciente realizado en 1.223 tambos de Uruguay, los autores encontraron una relación entre bajos niveles de RCST y la desinfección de pezones posordeño, la presencia de pezones secos antes de colocar las pezoneras y el correcto funcionamiento del sistema de pulsación de la máquina de ordeño (Vissio *et al.*, 2018).

En relación a la provincia de Córdoba, la producción de leche está distribuida principalmente en tres cuencas, denominadas Noreste, Sureste y Sur. Dicha provincia cuenta con casi un tercio del total de establecimientos ubicados en la región pampeana (OCLA, 2019), siendo la cuenca Sureste (zona de Villa María) la de mayor importancia, dado que produce, en volumen, el 43% del total provincial (DGEyC, provincia de Córdoba, 2017).

Por su parte, a pesar de que el sector lechero argentino ha experimentado profundos cambios en los últimos 20 años, la importancia de las pequeñas y medianas empresas tamberas queda de manifiesto ya que el 60% de los establecimientos entregan diariamente



a la industria láctea una producción igual o menor a los 2.000 litros de leche (OCLA, 2019).

En este marco de situación, estudios realizados en tambos de baja y mediana escala productiva en la cuenca de Villa María, Córdoba, Argentina, han demostrado la presencia de dos conglomerados de productores en base a la adopción de BP en la salud mamaria (Vissio *et al.*, 2013). A pesar de su reconocida eficacia en la reducción de RCST y de las recomendaciones de investigadores y extensionistas para su implementación, el nivel de adopción de dichas BP constituye un barrera para la mejora en el manejo de la salud mamaria del rodeo (Olde Riekerink *et al.*, 2005). Las decisiones individuales de los productores en la adopción de un plan de salud pueden estar condicionadas por múltiples factores, siendo uno de ellos, el beneficio económico (Valeeva *et al.*, 2007), lo que hace necesario realizar estimaciones productivas y económicas bajo las condiciones de manejo de nuestro país a fin de proveer información adicional de relevancia para tal fin. El objetivo de este estudio fue estimar la relación de BP sobre el RCST y el impacto económico diferencial entre tambos que difieren en la aplicación de dichas prácticas dirigidas a mejorar la salud mamaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue abordado en la cuenca de Villa María, provincia de Córdoba, a partir de una muestra aleatoria de un conjunto de establecimientos lecheros de pequeño a mediano tamaño, con un total de entre 100 a 250 vacas en ordeño (VO). Estos productores eran miembros de una asociación cooperativa y participantes de un estudio longitudinal realizado entre los años 2007 y 2008 (Vissio *et al.*, 2013). En cada establecimiento se realizó una evaluación visual de la sala de ordeño y de las características de la rutina de ordeño junto a la administración de una encuesta semiestructurada al productor en la primera visita.

En base a los datos recopilados y utilizando la clasificación descripta por Vissio *et al.* (2013), cada tambo fue asignado a uno de los dos conglomerados contemplados a fines de realizar el seguimiento y determinar sus niveles de RCST. Los criterios utilizados para identificar si un tambo pertenecía a uno u otro grupo fueron: el tipo de manejo en salud mamaria aplicado (en base al plan de los de cinco puntos de control), el intervalo entre las visitas del veterinario y el intervalo entre los chequeos de la máquina de ordeño.



De esta manera, se identificó un grupo de productores que empleaba rutinariamente la terapia antibiótica al secado, el sellado de pezones posordeño y la prueba del despunte (Grupo BP: 17 tambos), que fue comparado con otro que no aplicaba de forma sistemática tales medidas de manejo (Grupo MP: 15 tambos). En el término de un año se evaluó mensualmente el RCST de cada tambo. Las diferencias en el RCST mensual entre ambos grupos de establecimientos fueron analizadas mediante un modelo de medidas repetidas, incluyendo al predio como factor aleatorio y considerando adicionalmente, el número de VO y el nivel de producción como variables de ajuste. La matriz de correlación elegida fue la autorregresiva (Orden 1). Todo el procedimiento fue realizado siguiendo pautas descritas previamente (Gröhn *et al.*, 2004). El análisis fue llevado a cabo utilizando el procedimiento MIXED (SAS, 1999).

Según el nivel de RCST y considerando el total de VO y la producción diaria de leche, se estimaron la prevalencia de vacas y cuartos con MSC y las pérdidas productivas debidas a esta forma de la enfermedad, en base a estudios previos (Eberhart *et al.*, 1982). De acuerdo a estos autores, el análisis de correlación y regresión indicó que un 6% de los cuartos mamarios podía estar infectado ya a partir de un nivel de RCST de 200.000 cél/mL. Aplicando la misma ecuación, se estimó que un rodeo con un RCST de 500.000 cél/mL podría tener un 16% de cuartos infectados con un 6% de reducción en la producción de leche, mientras que cuando era de 1.000.000 cél/mL, el porcentaje de infección ascendía a 32% de los cuartos con una pérdida de leche estimada de 18%. Para estimar el porcentaje de vacas afectadas, se asumió que el nivel promedio de infección en cada una era de 1,5 cuartos.

El precio del litro de leche utilizado fue de US\$ 0,343 (cotización de febrero de 2012) y las pérdidas monetarias se expresaron en promedio de dólares a nivel de vaca para cada conglomerado.

RESULTADOS

El Grupo BP evidenció niveles de RCST significativamente inferiores a lo largo de todo el año ($p < 0,05$) respecto al Grupo MP (Figura 1). La media de RCST del Grupo BP fue de 297.000 cél/mL (EE: 29,5), lo que equivale, aproximadamente, a una prevalencia de vacas y cuartos infectados de 6% y 9%, respectivamente. Por su parte, la media de RCST del Grupo MP fue de 389.000 cél/mL (EE: 40,8), lo que equivale a prevalencias de vacas y

cuartos infectados en el orden de un 2% y 3% superiores a las del grupo BP, respectivamente (prevalencia en vacas: 8%; prevalencia en cuartos: 12%).

De acuerdo a los RCST mensuales registrados, la diferencia promedio entre las pérdidas monetarias de ambos grupos fue de US\$ 0,48/VO/mes, con una diferencia máxima de US\$ 1,27 (US\$ 0,27 para el grupo BP versus US\$ 1,54 para el grupo MP) y mínima de US\$ 0,08 (US\$ 0,39 versus US\$ 0,47) (Figura 2). La diferencia acumulada en el año fue de US\$ 5,77/VO.

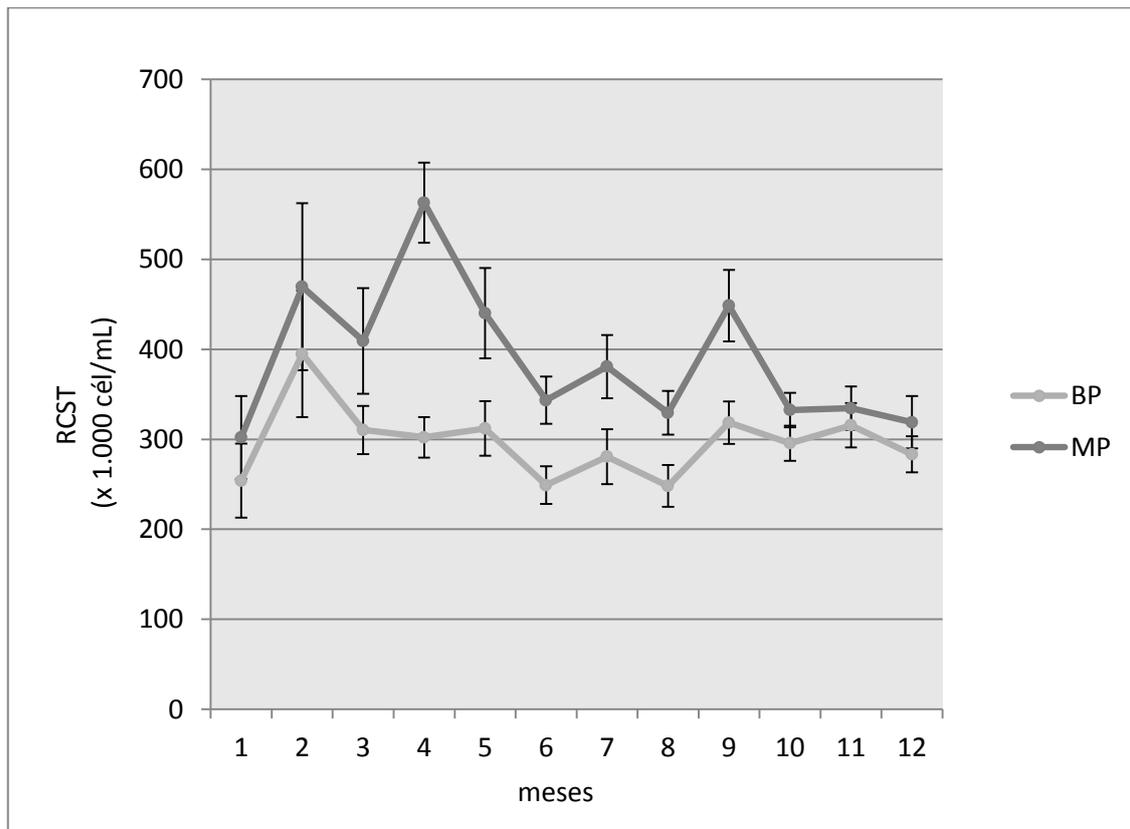


Figura 2.1: Promedio y error estándar de recuento de células somáticas en tanque (RCST) mensuales en establecimientos con buenas (BP; n=17) y malas (MP; n=15) prácticas.

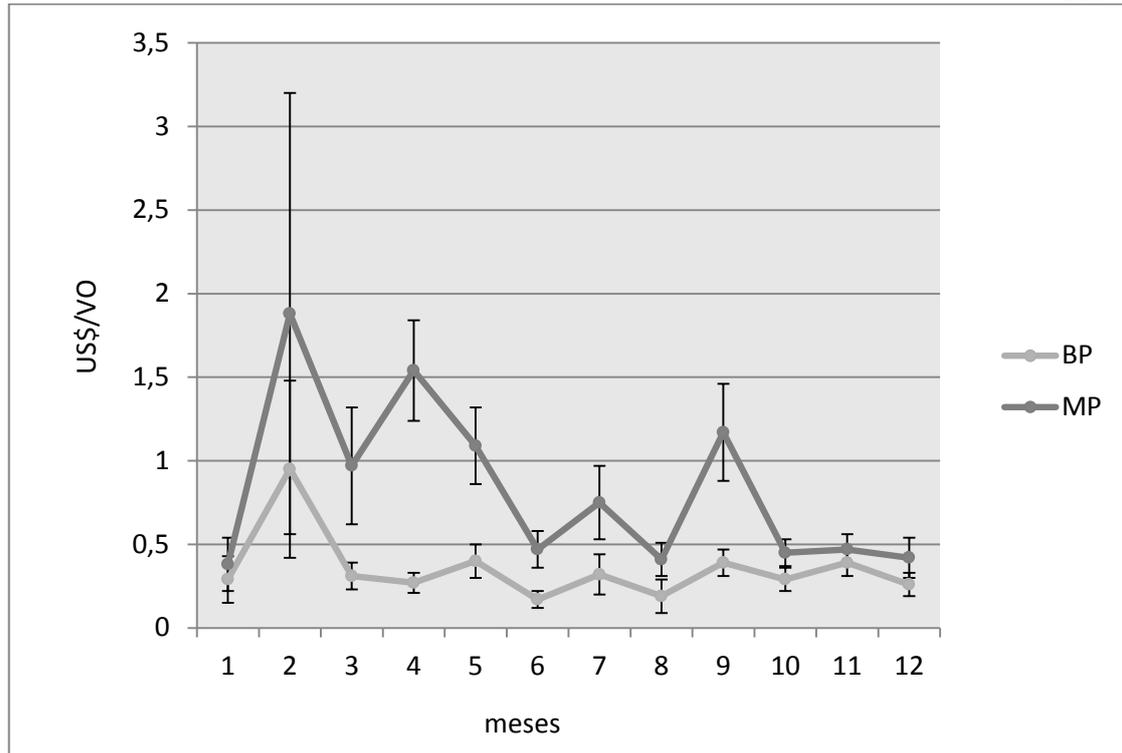


Figura 2.2: Promedio y error estándar de pérdidas (US\$) mensuales por vaca en ordeño (VO) en establecimientos con buenas (BP; n=17) y malas (MP; n=15) prácticas según su nivel de recuento de células somáticas en tanque.

DISCUSIÓN

En nuestra región, no existen precedentes de estudios de impacto económico de la mastitis basados en la comparación entre predios que apliquen o no BP.

Dada la naturaleza observacional a nivel de rodeo de este estudio, no pueden establecerse relaciones causales con los resultados obtenidos, ya que los mismos pueden estar sesgados por la presencia de otras variables no estrictamente relacionadas al manejo de la rutina de ordeño (Barkema *et al.*, 1999). Sin embargo, según lo reportado en la revisión de Dufour *et al.* (2011), existe una asociación consistente entre la aplicación de las medidas de control evaluadas en este trabajo y los cambios sobre el RCST a lo largo del tiempo.

A pesar de que la mastitis es una enfermedad que produce importantes pérdidas económicas, muchos productores no la perciben como costosa (Hogeveen *et al.*, 2010). Debido a la naturaleza crónica de la mastitis, el daño económico se extiende en el tiempo. Sumado a ello, los factores de costo más importantes, como la disminución de la producción de leche y el riesgo de descarte, no son directamente visibles. Por lo tanto, los



costos de la mastitis pueden ser subestimados (Hogeveen *et al.*, 2010). Esto conlleva a un menor grado de adopción de las medidas de control, entre otras causas (Valeeva *et al.*, 2007). Por otra parte, muy pocos establecimientos llevan registros de los costos de mastitis y, por lo tanto, tienen poca información económica específica de su propio rodeo sobre la que basar las decisiones o para evaluar el impacto económico de dichas decisiones. Si bien las estimaciones de pérdidas por MSC serían más precisas evaluando los registros de RCS individuales de las vacas presentes en el rodeo (Huijps, 2009), en la práctica, no todos los tambos disponen de dicha información, siendo, por otra parte, el RCST un dato fácilmente accesible en todos ellos. En este estudio, los establecimientos con mayores niveles de RCST fueron aquellos que no aplicaban las BP de forma consistente. Dada la relación inversa entre el RCST con la producción de leche, se pudieron cuantificar tanto las pérdidas de producción como las económicas tras un año de seguimiento.

Un trabajo sobre el impacto económico de la mastitis realizado en nuestra región (Vissio *et al.*, 2015), demostró que en un 50% de los establecimientos evaluados, el costo total de la enfermedad (pérdidas en producción de leche por MC y MSC más gastos del control y prevención) fue superior a US\$ 1,0/vaca/día. Estas cifras superan ampliamente a las obtenidas en este estudio. Sin embargo, hay que remarcar que en éste, los costos se relacionan con una de las formas de la manifestación de la mastitis (subclínica) sin contemplar los casos clínicos. A pesar de que, en general, las pérdidas por esta enfermedad se deben mayormente a dicha forma subclínica (Huijps, 2009; Vissio *et al.*, 2015), existen muchos rodeos que poseen relativamente una baja prevalencia de MSC pero una elevada proporción de MC, cuyos efectos no se verían reflejados necesariamente en el RCST. Por otro lado, en este estudio no fueron contemplados ni el impacto de la mastitis sobre la reproducción o el descarte, ni los gastos de control y prevención de la enfermedad, así como tampoco los aspectos económicos vinculados con los sistemas de bonificación o penalización de la industria láctea por los niveles de RCST. Es por esto que las estimaciones de pérdidas obtenidas en este estudio pueden considerarse conservadoras. A pesar de ello, los resultados obtenidos intentan proveer de cierta evidencia en la aplicación de BP desde el punto de vista económico a fin de aumentar la conciencia de los productores y lograr una mayor motivación para favorecer su adopción en rodeos lecheros de la cuenca de Villa María.



CONCLUSIÓN

En este trabajo se comunican estimaciones de las pérdidas económicas como consecuencia de la aplicación de BP de manera no sistemática en el tambo, paso previo y necesario para la evaluación de la eficiencia económica del control de la mastitis.

Estos resultados pueden aportar información para la toma de decisiones y la adopción de programas de extensión dirigidos a mejorar los estándares de salud mamaria en pequeños y medianos productores.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barkema HW, Schukken YH, Lam TJGM, Beiboer ML, Benedictus G, Brand A. (1998). Management practices associated with low, medium, and high somatic cell counts in bulk milk. *J Dairy Sci* 81: 1917–1927.
- Barkema HW, van der Ploeg JD, Schukken YH, Lam TJGM, Benedictus G, Brand A. (1999). Management style and its association with bulk milk somatic cell count and incidence rate of clinical mastitis. *J Dairy Sci* 82: 1655–1663.
- Barkema HW, De Vliegher S, Piepers S, Zadoks RN. (2013). Herd level approach to high bulk milk somatic cell count problems in dairy cattle. *Vet Q* 33: 82–93. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2013.799791>.
- Barnouin J, Bord S, Bazin S, Chassagne H. (2005). Dairy management practices associated with incidence rate of clinical mastitis in low somatic cell count herds in France. *J Dairy Sci* 88: 3700–3709.
- De Vliegher S, Laevens H, Barkema HW, Dohoo IR, Stryhn H, Opsomer G, de Kruif A. (2004). Management practices and heifer characteristics associated with early lactation somatic cell count of Belgian dairy heifers. *J Dairy Sci* 87: 937–947.
- DGEyC. Dirección General de Estadísticas y Censos de la provincia de Córdoba. <http://estadistica.cba.gov.ar/Econom%3%ADa/SectoresEcon%3%B3micos/Agropecuaria/Lecher%3%ADa/tabid/158/language/es-AR/Default.aspx>. Recuperado el 22 de marzo de 2017.
- Dohoo IR, Meek AH. (1982). Somatic cell counts in bovine milk. *Can Vet J* 23: 119–125.
- Dufour S, Fréchette A, Barkema HW, Mussell A, Scholl DT. (2011). Invited review: Effect of udder health management practices on herd somatic cell count. *J Dairy Sci* 94: 563–579. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3715>.
- Eberhart RJ, Gilmore HC, Hutchinson LJ, Spencer SB. (1979). *Somatic cell counts in DHI samples*. In: National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings. (p. 32).
- Eberhart RJ, Hutchinson LJ, Spencer SB. (1982). Relationships of bulk tank somatic cell counts to prevalence of intramammary infection and to indices of herd production. *J Food Protect* 45: 1125–1128.
- Faye B, N Dorr N, F Lescourret F, J Bamouin J, M Chassagne M. (1994). Farming practices associated with the udder infection complex. *Vet Res* 25: 213–218.



- Goodger WJ, Farver T, Pelletier J, Johnson P, DeSnayer G, Galland J. (1993). The association of milking management practices with bulk tank somatic cell counts. *Prev Vet Med* 15: 235–251. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-5877\(93\)90096-C](http://dx.doi.org/10.1016/0167-5877(93)90096-C).
- Gröhn YT, Wilson DJ, González NR, Hertl JÁ, Schulte H, Bennett G, Schukken YH. (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 3358–3374.
- Halasa T, Huijps K, Østeras O, Hogeveen H. (2007). Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Vet Q* 29: 18–31. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2007.9695224>.
- Hogeveen H, Huijps K, Jansen J, Lam TJGM. (2010). *Motivating isn't just about money*. In: National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings
- Hogeveen H, Huijps K, Lam TJGM. (2011). Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zeal Vet J* 59: 16–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>.
- Huijps K. (2009). *Economic decisions in mastitis management*. Tesis Doctoral. Faculty of Veterinary Medicine. Utrecht University, the Netherlands. (pp. 1–156).
- Kelly P, O'Sullivan K, Berry D, More S, Meaney W, O'Callaghan E, O'Brien B. (2009). Farm management factors associated with bulk tank somatic cell count in Irish dairy herds. *Ir Vet J* 62: S45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/2046-0481-62-S4-S45>.
- Kvapilík J, Hanus O, Syrucek J, Vyletelová–Klimesová M, Roubal P. (2014). The economic importance of the losses of cow milk due to mastitis: a meta-analysis. *Bulg J Agric Sci* 20: 1483–1497.
- Neave FK, Dodd FH, Kingwell RG, Westgarth DR. (1969). Control of mastitis in the dairy herd by hygiene and management. *J Dairy Sci* 52: 696–706.
- OCLA (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina). (2019). Recuperado el 20 de junio de 2019 en <http://www.ocla.org.ar/>.
- Olde Riekerink RGM, Barkema HW, Scholl DT, Kelton DF, Keefe GP. (2005). *Implementation of recommended mastitis prevention management practices and the herd level prevalence of contagious mastitis pathogens of Canadian dairy farms*. In: 4th IDF International Mastitis Conference Proceedings, Maastricht, The



- Netherlands. Wageningen Acad. Publ., Wageningen, the Netherlands. (pp. 587–592).
- Philpot WN. (1998). *Today's challenge to meet tomorrow's needs*. In: Panamerican Congress on Mastitis Control and Milk Quality Proceedings. Mérida, México. (pp 12–21).
- Reneau JK. (1986). Effective use of dairy herd improvement somatic cell counts in mastitis control. *J Dairy Sci* 69: 1708–1720.
- Reyes J, Sanchez J, Stryhn H, Ortiz T, Olivera M, Keefe GP. (2017). Influence of milking method, disinfection and herd management practices on bulk tank milk somatic cell counts in tropical dairy herds in Colombia. *Vet J* 220: 34–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.12.011>.
- Rodrigues ACO, Caraviello DZ, Ruegg PL. (2005). Management of Wisconsin dairy herds enrolled in milk quality teams. *J Dairy Sci* 88: 2660–2671. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72943-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72943-X).
- Rushton J. (2009). *The economics of Animal Health & Production*. Wallingford, UK: CABI. (pp 1–384).
- SAS OnlineDoc, Version 8. 1999. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Schewe RL, Kayitsinga J, Contreras GA, Odom C, Coats WA, Durst P, Hovingh EP, Martinez RO, Mobley R, Moore S, Erskine RJ. (2015). Herd management and social variables associated with bulk tank somatic cell count in dairy herds in the eastern United States. *J Dairy Sci* 1992: 7650–7665. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8840>.
- Schukken YH, Wilson DJ, Welcome F, Garrison-Tikofsky L, González RN. (2003). Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Vet Res* 34: 579–596. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2003028>.
- Schultz LH, Brown RW, Jasper DE, Mellenberger RW, Natzke RP, Philpot WN, Smith JW, Thompson PD. (1978). *Current Concepts of Bovine Mastitis*. (2nd ed.). Washington, D.C., USA: National Mastitis Council, Inc.
- Tadich N, Kruse J, Locher G, Green LE. (2003). Risk factors associated with BMSCC greater than 200 000 cells/ml in dairy herds in southern Chile. *Prev Vet Med* 58: 15–24. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5877\(03\)00002-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00002-3).



- Valeeva NI, Lam TJGM, Hogeveen H. (2007). Motivation of dairy farmers to improve mastitis management. *J Dairy Sci* 90: 4466–4477. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2007-0095>.
- Van Schaik G, Green LE, Guzmán D, Esparza H, Tadich N. (2005). Risk factors for bulk milk somatic cell counts and total bacterial counts in smallholder dairy farms in the 10th region of Chile. *Prev Vet Med* 67: 1–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.002>.
- Van Asseldonk MAPM, Renes MAPM, Lam TJGM, Hogeveen H. (2010). Awareness and perceived value of economic information in controlling somatic cell count. *Vet Rec* 166: 263–267.
- Vissio C, Dieser SA, Raspanti CG, Giraudo JA, Bogni CI, Odierno LM, Larriestra AJ. (2013). Dairy herd mastitis program in Argentina: Farm clusters and effects on bulk milk somatic cell counts. *Pak Vet J* 33: 80–84.
- Vissio C, Agüero DA, Raspanti CG, Odierno LM, Larriestra AJ. (2015). Pérdidas productivas y económicas diarias ocasionadas por la mastitis y erogaciones derivadas de su control en establecimientos lecheros de Córdoba, Argentina. *Arch Med Vet* 47: 7–14.
- Vissio C, Bouman M, Larriestra AJ. (2018). Milking machine and udder health management factors associated with bulk milk somatic cell count in Uruguayan herds. *Prev Vet Med* 150: 110–116.
- Wenz JR, Jensen SM, Lombard JE, Wagner BA, Dinsmore RP. (2007). Herd management practices and their association with bulk milk somatic cell count on United States dairy operations. *J Dairy Sci* 90: 3652–3659.



Capítulo III

Magnitud y variación de la mastitis clínica y sus costos asociados en rodeos lecheros de Argentina



RESUMEN

La mastitis clínica es considerada un problema emergente en Argentina relacionada a una mayor intensificación de los sistemas productivos y a la consolidación del plan de salud mamaria. Se llevó a cabo un estudio para evaluar su magnitud y variación en predios lecheros con buenos estándares en calidad de leche. Se estimaron la prevalencia, incidencia acumulada y tasa de incidencia, explorando factores de riesgo a nivel de vaca y la consecuencia económica de los casos clínicos. Una muestra de conveniencia de 2.535 vacas en ordeño de 19 rodeos lecheros constituyó la población en estudio. En cada predio, la prevalencia fue estimada el día de la visita. Las vacas sin mastitis fueron monitoreadas 15 días para estimar la incidencia. Se aplicaron modelos logísticos y de supervivencia mixtos. Los casos prevalentes fueron valuados considerando la leche descartada, tratamiento y disminución de la producción en el resto de la lactancia. La prevalencia cruda fue de 2,5 casos/100 vacas (IC95%=1,9-3,1), la incidencia acumulada de 3,9 casos nuevos/100 vacas (IC95%=3,1-4,7) y la tasa de incidencia de 2,7 casos nuevos/1.000 vacas-días a riesgo (IC95%=2,2-3,3). La mediana de rodeo fue de 1,69 (q1=0; q3=4,2), 3,6 (q1=2,0; q3=4,6) y 0,25 (q1=0,14; q3=0,42), respectivamente. Los casos prevalentes fueron más frecuentes en lactancia temprana (OR=1,69; IC95%=1,01-2,85). En vacas, tanto la incidencia acumulada (OR=3,36; IC95%=1,84-6,11) como la tasa de incidencia (HR=3,83; IC95%=2,05-7,15) fueron más de tres veces mayores que en vaquillonas. El costo de un caso fue de US\$ 185,01 y US\$ 143,03 para vacas y vaquillonas, respectivamente. La pérdida promedio fue de 4,50 US\$/vaca en ordeño (IC95%=3,38-5,61). Este es el primer estudio que aborda la problemática de la distribución e impacto de la mastitis clínica en rodeos lecheros en Argentina.

INTRODUCCIÓN

La mastitis es la enfermedad más costosa del ganado lechero a nivel mundial (Hogeveen *et al.*, 2011). Las pérdidas directas debidas a mastitis se deben principalmente a la disminución de la producción de leche asociada a las formas clínica y subclínica de la enfermedad (Wilson *et al.*, 2004; Vissio *et al.*, 2015). Otras pérdidas son atribuidas al descarte de leche anormal y/o con presencia de antibióticos, gastos en medicación, pago de honorarios veterinarios, fallas reproductivas, descarte de vacas y costos de reemplazo de animales (Hogeveen *et al.*, 2011).

Numerosos factores tales como las características individuales de las vacas (Olde Riekerink *et al.*, 2007), los componentes ambientales y de manejo (Nielsen, 2009) y el rodeo de pertenencia (Barkema *et al.*, 1999, Nyman *et al.*, 2007) pueden estar asociados a la prevalencia e incidencia de la mastitis.

La mastitis es una enfermedad que evoluciona con el sistema productivo y de acuerdo a las condiciones de control imperantes en el predio (Bradley, 2002). Según estas circunstancias, la importancia relativa de las formas clínica y subclínica de esta enfermedad y la de los agentes etiológicos involucrados pueden variar (Zadoks y Fitzpatrick, 2009). Es así que, en rodeos que tienen un plan de salud mamaria establecido y basado en prácticas de reconocida eficacia, conforme avanza el control, la fisonomía de la mastitis se va modificando (Bradley, 2002). En la Argentina, el sector lácteo primario ha experimentado profundos cambios en los últimos 20 años, observándose un importante crecimiento de la producción lechera debido a una mayor eficiencia productiva acompañada de un proceso de intensificación basado en la adopción de avances tecnológicos disponibles. Paulatinamente, gran parte de los rodeos comerciales pasaron de modelos más extensivos a modelos de mayor complejidad con un incremento en el beneficio económico (Tierí *et al.*, 2014). En este sentido, el cambio en los sistemas de producción hacia un modelo con mayor intensificación y la consolidación del plan de salud mamaria (“Plan de los cinco puntos”), han contribuido a la emergencia de nuevos patrones de la enfermedad con una mayor frecuencia de mastitis clínica (MC) y un predominio de infecciones intramamarias producidas por agentes ambientales (Zadoks y Fitzpatrick, 2009).

La falta de estudios previos que aborden esta temática en nuestro país motivó a la realización del presente trabajo, cuyo objetivo fue realizar una primera aproximación al



estudio de la variación de la prevalencia e incidencia de la MC y de sus consecuencias económicas en rodeos lecheros con buenos estándares de calidad de leche en tanque y que aplican regularmente un plan de salud mamaria convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimientos lecheros estudiados

El total de establecimientos estudiados estuvo constituido por 19 predios que consintieron su participación mediante una invitación realizada por la Asociación Pro Calidad de Leche de Argentina (AProCal) a través del veterinario asesor. Debido al carácter colaborativo que tuvo este trabajo y a la necesidad de obtener resultados en el corto plazo, dicho estudio se desarrolló en un período de tiempo corto, a fines de evaluar de manera rápida una gran cantidad de datos obtenidos de los predios involucrados. Los participantes provenían de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, y fueron visitados entre los meses de febrero y mayo del año 2011. El período de recolección de datos en cada establecimiento fue de 15 días. La población total de vacas en ordeño (VO) fue de 6.240, en su mayoría de raza Holando Argentino (Holstein-Friesian; 94,7%), con un promedio de 337 VO por predio. El sistema pastoril o semi-pastoril fue el predominante (79%), mientras que el 21% de los establecimientos había adoptado el encierre en corrales abiertos.

En los predios estudiados se realizaba ordeño mecánico (≥ 2), con una rutina que incluía el registro de los casos de MC, el tratamiento antibiótico intramamario al secado y la aplicación de antiséptico de pezones posordeño. Además, en un 47% de los predios se realizaba la desinfección de los pezones previa al ordeño. Los predios participantes reportaron recuentos en tanque (RCST) menores a 300.000 cél/mL y menores a 20.000 ufc/mL en los últimos tres meses previos a la realización del estudio.

Selección de los animales en cada predio

El tamaño de muestra en cada predio fue estimado por la fórmula $[Z^2 * P * (1-P) / d^2]$ (Thrusfield, 2007), con una confianza del 95% ($Z = 1,96$), asumiendo una prevalencia de MC (P) del 4% y una precisión (d) del 2% (2-6%), realizando el ajuste correspondiente según el número total de VO el día de la visita. Las vacas fueron seleccionadas



aleatoriamente a través de un muestreo sistemático implementado en la sala de ordeño y siguiendo la pauta de trabajo sugerida por Vissio (2012). Un total de 2.535 VO fueron seleccionadas y examinadas, la fracción de muestreo promedio fue de 40,6%, con un rango por predio de 25,2%–65,9%.

Definición del caso de mastitis

Se entendió como caso a toda vaca cuya leche presentara alteraciones (cambios en color, textura, consistencia, etc.) al momento del despunte, asociadas o no a signos clínicos locales (a nivel de la ubre) o sistémicos. Cualquier episodio clínico ocurrido dentro de las dos semanas posteriores al evento de MC, fue considerado como el mismo episodio (Halasa *et al.*, 2009). La detección de casos fue llevada a cabo por profesionales capacitados, estandarizándose la forma de trabajo mediante un entrenamiento conjunto de todos los veterinarios voluntarios. De cada animal muestreado, se registró su número de identificación (RP), número ordinal de parto y días en leche (DEL). Los datos relevados fueron registrados en planillas elaboradas para tal fin, donde se asentó la fecha de presentación del caso de MC y la fecha de secado, descarte o muerte si correspondiese. El período de seguimiento de los animales en cada predio fue de 15 días a partir de la primera visita.

Frecuencia de mastitis clínica

A partir del conjunto de vacas seleccionadas y examinadas el primer día se calculó la prevalencia puntual (Thrusfield, 2007), definida como el cociente entre el *Número de vacas que presentaron MC* y el *Número total de vacas seleccionadas ese día*. Dicho indicador fue expresado por cada 100 VO en el día de la visita y para el predio de referencia. Posteriormente, todas aquellas vacas seleccionadas que no poseían MC fueron monitoreadas diariamente durante los siguientes 15 días, a los efectos de identificar los casos incidentes. Sólo se registró el primer caso incidente durante el período de observación, y las recurrencias de MC no fueron consideradas como nuevos episodios.

Durante este lapso se registró, además, la fecha de secado, descarte y/o muerte para cada vaca. A partir de estos datos, se calculó la incidencia, tanto en la forma de proporción, Incidencia Acumulada (IA), como en la de Tasa de Incidencia (TI) (Thrusfield, 2007). Las fórmulas empleadas fueron: a) $IA = \frac{\text{Número total de vacas que presentaron casos incidentes de MC durante los 15 días de observación}}{\text{Número total de vacas muestreadas}}$



sanas al inicio del período de observación; b) $TI = \text{Número total de vacas que presentaron episodios incidentes de MC} / \text{Vaca-días a riesgo}$. El denominador en el inciso b), se dedujo sumando los días que cada vaca estuvo en monitoreo, lo que implicó el descuento del número de días desde la aparición del caso hasta finalizar el período de observación, así como también, los días en que la vaca no estuvo en ordeño por diferentes motivos.

Análisis estadísticos

Se analizaron la prevalencia, IA y TI de MC para el conjunto de las vacas estudiadas y por predio (medidas de frecuencias crudas). Las medidas de frecuencia específicas fueron analizadas considerando dos factores individuales de la vaca, la paridad del animal (vaquillona: 1 parto; vaca: 2 o más partos), y los DEL (≤ 90 días y > 90 días). Dado que se trabajó con una muestra aleatoria de vacas, se calcularon los intervalos de confianza para cada una de las medidas de frecuencia (Thursfield, 2007).

Análisis de factores de riesgo considerando el efecto contextual del predio lechero

Los factores de riesgo analizados fueron paridad y DEL. A tal fin, se ajustaron tres modelos, dos de regresión logística (Le 1997) para evaluar los factores asociados a la probabilidad de ser un caso prevalente o un caso incidente, y un modelo de regresión proporcional de Cox (Le, 1997) para evaluar los factores asociados a la TI. Las interacciones entre paridad y DEL fueron analizadas en los tres modelos y además, para contabilizar la variación en el riesgo de MC debido al contexto de manejo del rodeo, el predio fue incluido como efecto aleatorio en todos ellos. En estos tipos de modelos, se puede calcular la proporción de la variación atribuible al efecto contextual (predio), utilizando el coeficiente de correlación intra-clase (CCI, ρ) en la forma descrita por Snijders y Bosker (2011);

$$\rho = \sigma^2_t / (\sigma^2_t + \pi^2/3),$$

donde σ^2_t es la varianza atribuible al predio.

Para evaluar el ajuste de los modelos, se realizó el análisis gráfico de los residuos. Todos los análisis fueron llevados a cabo en el programa STATA versión 11.

Impacto económico de la mastitis clínica

Las pérdidas monetarias derivadas del episodio de MC en este estudio fueron estimadas considerando los costos de la leche descartada y del tratamiento (Wolfová *et al.*,

2006). Se asumió, según los productos disponibles en el mercado utilizados en los predios, que cada vaca fue tratada en promedio con 3 aplicaciones de antibiótico intramamario a un precio de US\$ 3 cada una (cotización del 30/08/2013), y que la leche fue descartada durante 5 días. El precio de la leche en dólares fue de 0,37 US\$/L (cotización del 30/08/2013). La producción diaria promedio de leche fue de 30,83 L/d para vacas y de 25,00 L/d para vaquillonas.

Además, considerando los DEL al momento del evento y asumiendo una duración de la lactancia promedio de 10 meses, se dedujeron las pérdidas productivas posteriores al episodio y atribuibles exclusivamente al mismo, discriminadas entre vacas y vaquillonas, utilizando las estimaciones realizadas por Tirante *et al.* (2013). Posteriormente, se obtuvo una valoración final constituida por los costos del episodio de MC registrado más las pérdidas estimadas para el resto de la lactancia debidas a este caso. El costo monetario de las pérdidas se expresó en dólares.

RESULTADOS

Medidas de frecuencia crudas y específicas

Sobre un total de 2.535 VO muestreadas en este estudio, la prevalencia cruda de MC fue de 2,53 (IC95%=1,89-3,16) casos por cada 100 VO. En base a los casos incidentes detectados durante los quince días posteriores a la primera visita, se determinó una IA cruda de 3,93 (IC95%=3,14-4,71) casos nuevos por cada 100 VO y una TI cruda de 2,70 (IC95%=2,20-3,30) casos nuevos por cada 1.000 VO-días a riesgo.

Al examinar las medidas de frecuencia específicas utilizando los datos de estas 2.535 VO, se apreció que la prevalencia en vacas fue casi dos veces mayor que la evidenciada en vaquillonas (Tabla 2.1). En cuanto a los DEL, la presentación de MC durante los primeros 90 días fue también el doble respecto a lactancias más tardías (Tabla 2.1). La evaluación de la IA específica mostró que las vacas presentaron un riesgo de MC substancialmente mayor que las vaquillonas, siendo de menor magnitud en el caso de los DEL (Tabla 2.1).

Tabla 3.1. Prevalencia e Incidencia Acumulada de mastitis clínica estratificadas de acuerdo a la paridad y los días en leche (n=2.535).

Factores	Categorías	% Prevalencia (IC 95%)	% Incidencia Acumulada (IC 95%)
Paridad	Vaca (n=1.592)	3,14 (2,25-4,02)	5,31 (4,16-6,47)
	Vaquillona (n=943)	1,59 (0,73-2,44)	1,61 (0,75-2,48)
DEL	≤90 días (n=650)	4,15 (2,54-5,76)	4,49 (2,78-6,20)
	>90 días (n=1.885)	2,02 (1,35-2,67)	3,74 (2,84-4,62)

A nivel de predio (n=19), la mediana de la prevalencia, IA y TI de MC fue de 1,69% (percentil 25%=0,00; percentil 75%=4,20), 3,60% (percentil 25%=2,00; percentil 75%=4,60) y 0,25% (percentil 25%=0,14; percentil 75%=0,42), respectivamente. La disparidad de la prevalencia e IA crudas entre predios oscilaron entre 0% y 8,33% y 0% y 10,91%, respectivamente (Figura 3.1).

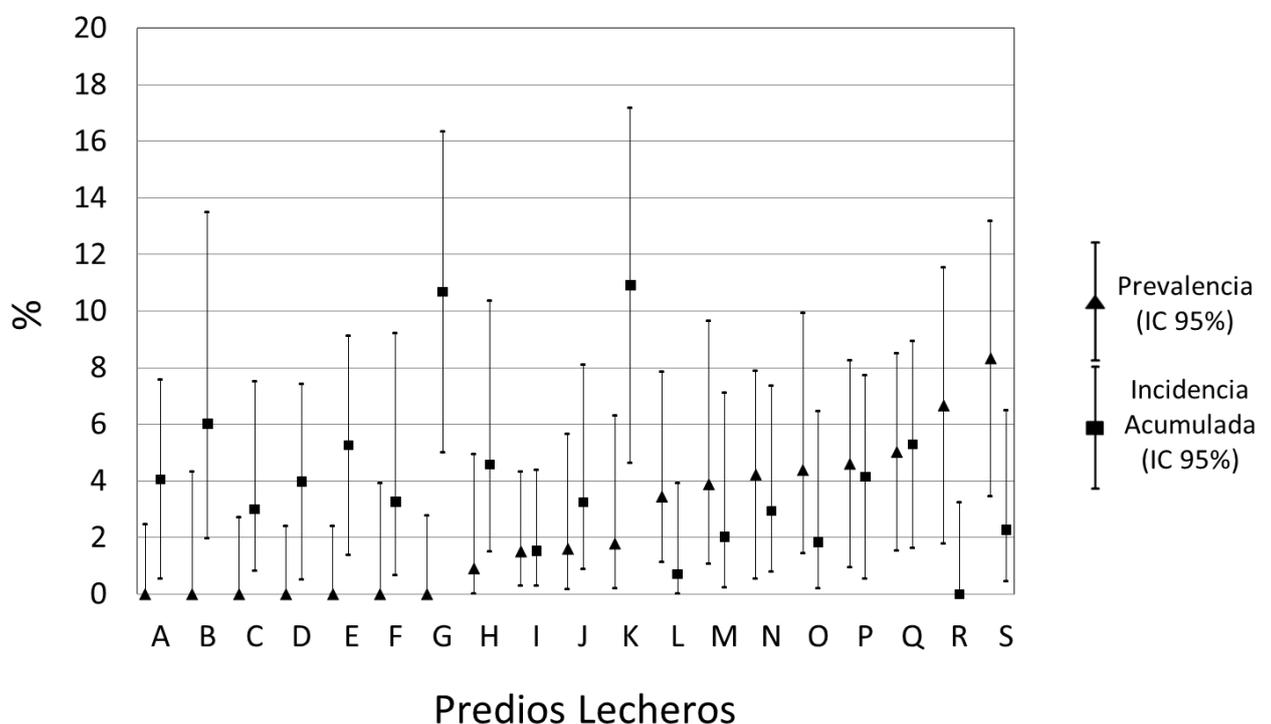


Figura 3.1. Prevalencia e Incidencia acumulada de Mastitis Clínica (IC 95%) estimadas para los establecimientos lecheros evaluados, Argentina (2011).

Factores de riesgo en el contexto del predio lechero

Considerando los DEL y la paridad conjuntamente y ajustando por el efecto del predio, para la prevalencia de MC, sólo los DEL (≤ 90 días en leche vs > 90 días en leche) resultaron asociados con una OR de 1,69 (IC95%=1,01-2,85), mientras que para la IA, la paridad fue la única variable asociada, experimentando las vacas una incidencia tres veces más alta respecto a vaquillonas (OR=3,36; IC95%=1,84-6,11) (Tabla 2.2). De forma análoga, la TI fue casi 4 veces más elevada en vacas respecto a vaquillonas (HR=3,83; IC95%=2,05-7,15), sin evidenciarse diferencias significativas por los DEL. Según los CCI obtenidos, la variación en la prevalencia e IA de MC entre vacas podría ser atribuida en un 29,30% y en un 6,25% por el hecho de pertenecer a un predio en particular, respectivamente.

Tabla 3.2. Factores asociados a las chances de casos prevalentes e incidentes de mastitis clínica.

	Casos Prevalentes OR (IC 95%)*	Casos Incidentes OR (IC 95%)*
DEL**	1,69 (1,01-2,85)	1,12 (0,70-1,78)
Paridad***	1,84 (0,88-3,86)	3,36 (1,84-6,11)

* Odds Ratio e Intervalo de Confianza (95%) derivados del modelo mixto con el rodeo como efecto aleatorio y ajustada por DEL y paridad

** Días en leche (≤ 90 días vs > 90 días)

*** Vaca vs Vaquillona

Análisis económico

Las pérdidas debidas al episodio de MC registrado (por leche descartada y tratamiento aplicado) para vaca y vaquillona fueron de US\$ 66,04 y US\$ 55,25, respectivamente.

En promedio, las vacas presentaron el evento a los 154 DEL, mientras que en vaquillonas, el mismo ocurrió a los 200 DEL. Las pérdidas para el resto de la lactancia por el caso de MC registrado, estimadas para estas situaciones genéricas, fueron de 321,55 y 237,25 L para vaca y vaquillona que, traducidas a dólares, representaron un costo de US\$ 118,97 y US\$ 87,78, respectivamente.



Las pérdidas totales para un caso de MC fueron de US\$ 185,01 para vacas y de US\$ 143,03 para vaquillonas. Los costos promedios finales estimados para el total de vacas ($n=2.535$) fueron de US\$ 4,50/VO (IC95%=3,38-5,61). Al examinar los costos a nivel de predio, los mismos oscilaron entre US\$ 0/VO y US\$ 15,54/VO, presentando la mitad de los predios un costo igual o superior a US\$ 2,43/VO.

DISCUSIÓN

Tanto en Argentina como en el resto de Latinoamérica, son escasos los reportes acerca de valores de prevalencia e incidencia de MC en base a un número considerable de predios y, prácticamente, no se dispone de estudios con diseños probabilísticos. De aquellos trabajos publicados recientemente en nuestra región, Trujillo *et al.* (2011) reportaron una prevalencia en vacas de 3,8% (IC95%=1,4-6,2), Ramírez Vásquez *et al.* (2011) de 1,7% y Vissio *et al.* (2015) de 3% (IC95%=2,3-3,7), valores similares a los registrados en este estudio al momento de la primera visita (prevalencia = 2,5%; IC95%=1,9-3,1).

Dado que un rodeo de VO puede considerarse básicamente como una población abierta, el cálculo de la TI es más apropiado que el de la IA (Thrusfield, 2007). En este caso, debido a que el período de seguimiento fue corto, ambas medidas pueden ser igualmente válidas (Thrusfield, 2007). Por otro lado, los valores de incidencia demostraron una gran disparidad entre los predios evaluados (IA=0 a 10,91%), lo que reflejaría la diversidad de situaciones potenciales que influyen la celeridad con la que la MC progresa en la población. Considerando la mediana de IA de rodeo (3,6%) y de mantenerse con esta magnitud en el tiempo, se podría inferir que para la mitad de los predios, una gran proporción de las vacas experimentarían al menos un caso al cabo de un año.

Es dificultoso cotejar los datos de incidencia estimados, respecto a los reportados en estudios previos. Esto se debe, en parte, a la diversidad en cómo la incidencia ha sido calculada (mensual, trimestral, estacional (Shpigel *et al.*, 1998), lactacional (Wolfová *et al.*, 2006; Petrovski *et al.*, 2009), o si ésta ha sido ajustada por otros factores (Pérez-Cabal *et al.*, 2008; Petrovski *et al.*, 2009; de Vlieghe *et al.*, 2012). Además, discrepancias posibles entre la bibliografía pueden deberse a diferencias en la definición de caso (en relación al curso de la enfermedad y la severidad de la misma), así como también en la detección del mismo, según quiénes fueron los encargados en hacer el diagnóstico



(veterinarios, productores, tamberos, etc.) (Thrusfield, 2007). Dichos elementos pueden provocar una subestimación o sobreestimación de la frecuencia de MC de cada predio (Martin *et al.*, 1987). Este último aspecto no puede ser descartado totalmente en este trabajo, a pesar de que se hizo un esfuerzo en la sistematización de la definición de caso para minimizar el sesgo de detección.

Al considerar los DEL y la paridad de la vaca conjuntamente en el modelo multivariado, con el predio como efecto aleatorio, sólo se observó un incremento significativo en las chances de casos incidentes en favor de las vacas, lo que es coincidente con previas investigaciones (Rajala-Schultz *et al.*, 1999; Wilson *et al.*, 2004; Breen *et al.*, 2009). En contraposición, algunos autores señalaron un mayor riesgo en vaquillonas, especialmente durante los primeros 14 días posparto (Nyman *et al.*, 2007; Olde Riekerink *et al.*, 2008; Steeneveld *et al.*, 2008). Estos hallazgos, en alguna medida, reflejarían además un efecto de la lactancia temprana sobre la incidencia de los casos clínicos, lo que ha sido también observado en vacas por Pérez-Cabal *et al.* (2008), Breen *et al.* (2009), Petrovski *et al.* (2009), pero que no fue evidenciada en este estudio.

El grado de correlación del riesgo de MC de cada vaca dentro del rodeo es expresado por el coeficiente de correlación intraclase (Snijder y Bosker, 2011). En este sentido, la proporción de varianza capturada por el conglomerado (rodeo) para casos prevalentes (29,30%) fue superior al 15% reportado por Vissio (2012), y sugiere que una porción significativa de la variación en la prevalencia de MC reside en aspectos vinculados al manejo de los predios. En contraposición, la mayor variabilidad en la ocurrencia de casos incidentes no se encuentra condicionada críticamente por el predio de pertenencia (6,25%), lo que implica que el riesgo varía fundamentalmente por particularidades entre los individuos. La búsqueda de predictores individuales de riesgo de MC en vacas ha sido investigada extensamente por Steeneveld *et al.* (2008), los que encontraron que, antecedentes tales como la estación del año, los recuentos de células somáticas en leche en el mes anterior, la media geométrica de dichos recuentos en la lactancia previa y la historia de casos de MC, influyen significativamente en el riesgo de presentar un episodio clínico. Dichos factores no pueden ser descartados como influyentes en la variación individual del riesgo de casos incidentes en este estudio.

Existen iniciativas en Argentina conducentes a valorar el impacto económico de la mastitis. Estimaciones previas de los costos deducidos a partir de datos de RCST, fueron realizadas comparando predios que aplicaban buenas y malas prácticas de manejo



(Richardet *et al.*, 2012). Por otra parte, Vissio *et al.* (2015) en un estudio que involucró a 48 predios de Villa María, Córdoba, reportaron pérdidas por MC de 4 cc de US\$/vaca/día, cifras marcadamente inferiores a las estimadas aquí, debido a que el análisis sólo incluyó costos de tratamiento y leche descartada de un día.

Las estimaciones presentadas en este estudio describen de forma más completa el impacto económico de un caso, dado que contempla el retiro de leche completo y el efecto ulterior sobre la producción a lo largo de la lactancia. Aun así, durante el término de la lactación, una vaca puede experimentar más de un evento de MC y un mayor nivel de pérdidas (Bar *et al.*, 2007), fenómeno que no fue evaluado a causa de los límites del período de monitoreo definido en el diseño del estudio. La investigación de dos o más repeticiones de MC implica una perspectiva de análisis por lactación, mientras que el propósito del presente estudio fue estimar más integralmente las consecuencias económicas a partir de un caso.

Por otra parte, debe considerarse que las pérdidas productivas en este estudio, realizadas en base a estimaciones de Tirante *et al.* (2013), contemplaron los casos de MC sin distinción de su etiología. Es sabido por estudios previos que, dependiendo del tipo de patógeno involucrado en la presentación del caso, el patrón de pérdida de leche varía (Gröhn *et al.*, 2004; Hertl *et al.*, 2014). La posibilidad de realizar, en estudios posteriores, análisis bacteriológicos de los casos con la subsiguiente identificación etiológica permitirá obtener estimaciones más precisas de las pérdidas productivas y de su impacto económico.

Una de las falencias de esta investigación es que el diseño no fue probabilístico en lo que respecta a los predios, razón por la cual los resultados no pueden ser extrapolados mecánicamente al sector lechero argentino. Además, los costos de tratamiento no fueron adaptados a cada predio debido a que no se colectaron datos de los protocolos empleados.

En un futuro, sería de interés estudiar los efectos de la MC a nivel lactacional conjuntamente con aquellos vinculados a mediano plazo, como son el descarte prematuro o muerte de los animales bajo nuestras condiciones de producción. Los resultados obtenidos en esta investigación contribuyen a un mejor conocimiento del impacto económico de esta enfermedad, dado que no existen estudios previos en Argentina que documenten pérdidas por episodios clínicos más allá del período de finalización del tratamiento.

La gran variación en la frecuencia e impacto de la MC refleja la importancia de esta manifestación de la enfermedad y permite inferir la existencia de una proporción considerable de pérdidas evitables.



CONCLUSIÓN

El estudio demuestra el alcance y la variación de la frecuencia de MC y sus costos asociados entre los rodeos de Argentina con buenos estándares de calidad de leche en tanque y que aplican regularmente un plan de salud mamaria convencional.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bar D, Gröhn YT, Bennett G, González RN, Hertl JA, Schulte HF, Tauer LW, Welcome FL, Schukken YH. (2007). Effect of repeated episodes of generic clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 90: 4643–4653. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0145>.
- Barkema HW, Schukken YH, Lam TJGM, Beiboer ML, Benedictus G, Brand A. (1999). Management practices associated with the incidence rate of clinical mastitis. *J Dairy Sci* 82: 1643–1654.
- Bradley AJ. (2002). Bovine mastitis: An evolving disease. *Vet J* 164: 116–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/tvj.2002.0724>.
- Breen JE, Green MJ, Bradley AJ. (2009). Quarter and cow risk factors associated with the occurrence of clinical mastitis in dairy cows in the United Kingdom. *J Dairy Sci* 92: 2551–2561. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1562>.
- De Vliegher S, Fox LK, Piepers S, McDougall S, Barkema HW. (2012). Invited review: mastitis in dairy heifers: nature of the disease, potential impact, prevention, and control. *J Dairy Sci* 95: 1025–1040. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-4074>.
- Gröhn YT, Wilson DJ, González NR, Hertl JA, Schulte H, Bennett G, Schukken YH. (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 3358–3374.
- Halasa T, Nielen M, Huirne RBM, Hogeveen H. (2009). Stochastic bio-economic model of bovine intramammary infection. *Livest Sci* 124: 295–305. doi:10.1016/j.livsci.2009.02.019.
- Hertl JA, Schukken YH, Welcome FL, Tauer LW, Gröhn YT. (2014). Pathogen-specific effects on milk yield in repeated clinical mastitis episodes in Holstein dairy cow. *J Dairy Sci* 97: 1465–1480. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7266>.
- Hogeveen H, Huijps K, Lam TJGM. (2011). Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zeal Vet J* 59: 16–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>.
- Le CT. (1997). *Applied categorical analysis*. New York, USA: John Wiley. (pp. 239–278).
- Martin SW, Meek AH, Willeberg P. (1987). *Veterinary epidemiology: Principles and methods*. Ames, USA: Iowa State University Press. (pp. 1–343).



- Nielsen C. (2009). *Economic impact of mastitis in dairy cows*. Tesis doctoral. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science. Department of Animal Breeding and Genetics. Uppsala, Sweden. (pp. 1–81).
- Nyman AK, Ekman T, Emanuelson U, Gustafsson AH, Holtenius K, Persson Waller K, Sandgren CH. (2007). Risk factors associated with the incidence of veterinary-treated clinical mastitis in Swedish dairy herds with a high milk yield and a low prevalence of subclinical mastitis. *Prev Vet Med* 78: 142–160. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.10.002>.
- Olde Riekerink RGM, Barkema HW, Stryhn H. (2007). The effect of season on somatic cell count and the incidence of clinical mastitis. *J Dairy Sci* 90: 1704–1715. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-567>.
- Olde Riekerink RGM, Barkema HW, Kelton DF, Scholl DT. (2008). Incidence rate of clinical mastitis on Canadian dairy farms. *J Dairy Sci* 91: 1366–1377. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0757>.
- Pérez-Cabal MA, Yaici S, Alenda R. (2008). Clinical mastitis in Spanish dairy cows: incidence and costs. *Span J Agric Res (España)* 6: 615–622.
- Petrovski KR, Heuer C, Parkinson TJ, Williamson NB. (2009). The incidence and aetiology of clinical bovine mastitis on 14 farms in Northland, New Zealand. *New Zeal Vet J* 57: 109–115. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2009.36887>.
- Rajala-Schultz PJ, Gröhn YT, McCulloch CE, Guard CL. (1999). Effects of clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 82: 1213–1220.
- Ramírez Vásquez N, Arroyave Henao O, Cerón-Muñoz M, Jaramillo M, Cerón J, Palacio LG. (2011). Factores asociados a mastitis en vacas de la microcuenca lechera del altiplano norte de Antioquia, Colombia. *Rev Med Vet* 22: 31–42.
- Richardet M, Vissio C, Odierno L, Larriestra AJ. (2012). *Implicancias económicas de buenas prácticas dirigidas a promover bajos recuentos en tanque en productores de la cuenca lechera de Villa María*. En: Resúmenes del 35° Congreso Argentino de Producción Animal, Córdoba, Argentina y *Revista Argentina de Producción Animal* (Argentina) 32. (p. 95).
- Shpigel NY, Winkler M, Ziv G, Saran A. (1998). Clinical, bacteriological and epidemiological aspects of clinical mastitis in Israeli dairy herds. *Prev Vet Med* 35: 1–9.



- Snijders TAB, Bosker RJ. (2011). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modelling*. (2da ed.). London, UK: Sage. (pp. 1–313).
- Steenefeld W, Hogeveen H, Barkema HW, van den Broek J, Huirne RBM. (2008). The influence of cow factors on the incidence of clinical mastitis in dairy cows. *J Dairy Sci* 91: 1391–1402.
- Tieri M, Comeron E, Pece M, Herrero M, Engler P, Charlón V, García K. (2014). *Indicadores utilizados para evaluar la sustentabilidad integral de los sistemas de producción de leche con énfasis en el impacto ambiental*. En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Publicación Miscelánea. ISSN 2314-3126.
- Tirante L, Gavidia M, Vissio C, Odierno L, Larriestra AJ. (2013). *Effect of clinical mastitis on milk production*. In: 52nd National Mastitis Council Meeting. San Diego, California.
- Thrusfield M. (2007). *Veterinary Epidemiology*. (3ra ed.). Oxford, UK: Blackwell Science. (pp. 1–593).
- Trujillo CM, Gallego AF, Ramírez N, Palacio LG. (2011). Prevalence of mastitis in dairy herds in Eastern Antioquia. *Rev Colomb Cienc Pecu* 24: 11–18.
- Vissio C. (2012). *Economic Impact of Mastitis in Dairy Cows*. Tesis doctoral; Doctorado en Ciencias Biológicas, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Río Cuarto, Argentina. (pp. 1-117).
- Vissio C, Agüero DA, Raspanti CG, Odierno LM, Larriestra AJ. (2015). Pérdidas productivas y económicas diarias ocasionadas por la mastitis y erogaciones derivadas de su control en establecimientos lecheros de Córdoba, Argentina. *Arch Med Vet* 47: 7–14.
- Wilson DJ, González RN, Hertl J, Schulte HF, Bennett GJ, Schukken YH, Gröhn YT. (2004). Effect of Clinical Mastitis on the Lactation Curve: A mixed model estimation using daily milk weights. *J Dairy Sci* 87: 2073–2084.
- Wolfová M, Štípková M, Wolf J. (2006). Incidence and economics of clinical mastitis in five Holstein herds in the Czech Republic. *Prev Vet Med* 77: 48–64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.06.002>.
- Zadoks RN, Fitzpatrick JL. (2009). Changing trends in mastitis. *Irish Vet J* 62: 59–70.



Capítulo IV

Evaluación de una vacuna avirulenta contra la mastitis por *Staphylococcus aureus* bajo condiciones de campo

Parte de este trabajo fue comunicado en el 7th vaccine and ISV Congress, Sitges, Barcelona, España, 27 y 28 de octubre de 2013.



RESUMEN

La mastitis es una de las enfermedades económicamente más devastadoras del ganado lechero en el mundo. En nuestra región, *Staphylococcus aureus* es el principal agente causante de esta enfermedad. Entre las herramientas para el control de la mastitis en los rodeos, la vacunación parece ser un enfoque racional. En el presente trabajo se evaluó la eficacia de la vacunación con la cepa *S. aureus* RC122 contra la infección natural de las vacas en una prueba de campo. Se determinaron la respuesta inmunológica, las infecciones por *S. aureus*, el recuento de células somáticas de la leche, la producción de leche y el beneficio neto de la vacunación. Sesenta vacas fueron asignadas por medio de una aleatorización en bloques al grupo vacunado o al grupo no vacunado. Se administraron tres dosis subcutáneas de la vacuna a los 90, 60 y 10 días previos al parto. Se observó un aumento en el nivel de IgG específica en sangre y leche en el grupo vacunado. Si bien no se detectaron diferencias en los niveles de infección entre ambos grupos, el grupo vacunado mostró, a lo largo del ensayo, una disminución significativa en el recuento de células somáticas y una tendencia a una mayor producción de leche respecto al grupo no vacunado. Estos resultados, sumado al bajo costo estimado del programa de vacunación completo, justificarían la aplicación de la vacuna, en combinación con otros procedimientos de control de infecciones, para mejorar la salud de los rodeos lecheros.



INTRODUCCIÓN

La mastitis es una de las enfermedades económicamente más devastadoras del ganado lechero en el mundo, con diferentes niveles de pérdidas informados y variaciones en los cálculos utilizados para cuantificarlos (Dekkers *et al.*, 1996; Dua, 2001; Hogeveen *et al.*, 2011). En Argentina, se ha estimado un costo diario promedio para la mastitis en el 16% de los ingresos brutos diarios del rodeo. Tales pérdidas se han atribuido a mastitis subclínica (MSC) (Vissio *et al.*, 2015).

Existen más de 135 especies y subespecies de patógenos potenciales que pueden asociarse a mastitis (Bogni *et al.*, 2011), entre los cuales, *Staphylococcus aureus* sigue siendo el patógeno más prevalente (Monecke *et al.*, 2007; Dieser *et al.*, 2013). La mayoría de las infecciones debidas a este patógeno son subclínicas. Los animales a menudo se infectan durante la lactación después de períodos prolongados de exposición y los animales afectados raramente se enferman gravemente (Bramley *et al.*, 2003).

El control racional de la mastitis bovina se basa en el "Plan de los Cinco Puntos" convencional (Dodd *et al.*, 1969), que ha sido utilizado con éxito para reducir el nivel de patógenos contagiosos en los rodeos. No obstante, el control aún depende en gran medida del uso de antibióticos (Bradley, 2002; Barkema *et al.*, 2006). Para reducir los residuos de antibióticos en productos lácteos y de acuerdo con la presión global para limitar su uso en ganado lechero, los investigadores se han enfocado en mejorar los mecanismos naturales de defensa de las vacas mediante el desarrollo de métodos alternativos como vacunas (Pereira *et al.*, 2011), inmuno-moduladores (Zeconni *et al.*, 1999; Larsen *et al.*, 2004; Dallard *et al.*, 2013) o productos "orgánicos", como son los microorganismos probióticos (Klostermann *et al.*, 2008; Espeche *et al.*, 2009; Espeche *et al.*, 2012; Frola *et al.*, 2012; Frola *et al.*, 2013).

Se han realizado varios esfuerzos para desarrollar una vacuna contra la mastitis por *S. aureus*, utilizando diversos enfoques (Middleton, 2008). Estos incluyen, entre otros, vacunas de organismos completos (Calzolari *et al.*, 1997; Giraudo *et al.*, 1997; Leitner *et al.*, 2003a), vacunas de ADN como las que codifican el factor de agrupamiento A (Nour El-Din *et al.*, 2006), vacunas de conjugado de proteína polisacárida capsular (Poutrel *et al.*, 1988; Mamo *et al.*, 1994) y enterotoxina recombinante de *S. aureus* tipo C (Chang *et al.*, 2008). Aunque la mayoría de estas vacunas son eficaces para estimular la respuesta inmune humoral, no son buenas en elevar la inmunidad celular. Las vacunas



vivas atenuadas presentan una serie de ventajas, ya que simulan una infección natural induciendo una amplia respuesta inmune humoral y celular mediante la activación de células B y T y células de memoria (Pellegrino *et al.*, 2008; Pellegrino *et al.*, 2010; Pellegrino y Bogni, 2011).

Informes previos describen el comportamiento de la cepa *S. aureus* mutante avirulenta RC122 (Bogni *et al.*, 1998) en diferentes modelos animales (Reinoso *et al.*, 2002) y el efecto de la inmunización en vaquillonas contra la mastitis estafilocócica a través de ensayos experimentales (Pellegrino *et al.*, 2008; Pellegrino *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos mostraron un aumento significativo en el nivel de IgG específica en sangre y leche de vaquillonas vacunadas, siendo IgG₂ el isotipo de anticuerpo principal encontrado en la sangre al momento del parto. Además, en los sueros inmunes de animales vacunados se vio aumentada la fagocitosis y pudieron opsonizar cepas heterólogas de *S. aureus*, proporcionando protección mediante una reducción significativa en la eliminación bacteriana por leche después del desafío con la cepa virulenta parental de *S. aureus* (Pellegrino *et al.*, 2010).

Este capítulo aborda la etapa final de desarrollo de una vacuna contra la mastitis bovina producida por *S. aureus* que se propone evaluar su eficacia en un ensayo de campo y los aspectos relacionados a la factibilidad económica de la implementación del programa de inmunización en el tambo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Rodeo, selección de vacas y esquema de vacunación

Se llevó a cabo un ensayo de campo ciego en un rodeo lechero comercial de vacas Holando Argentino (Holstein-Friesian) en Córdoba, Argentina (entre 2012 y 2013). El rodeo estudiado fue seleccionado de una lista de establecimientos involucrados en un estudio previo (Dieser *et al.*, 2013). El rodeo contaba con 160 vacas en ordeño (VO) con una media de recuento de células somáticas en tanque (RCST) de 350.000 cél/mL. Las vacas eran ordeñadas dos veces al día por 3 tamberos dedicados a tal fin que aplicaban una rutina de ordeño basada en el lavado y secado de pezones con toallas de tela individuales para cada vaca, despunte e inspección de la leche para detectar signos tempranos de mastitis clínica (MC), desinfección de pezones posordeño y terapia con antibióticos al



secado en todos los cuartos de todas las vacas. Los casos de MC eran tratados de acuerdo a un protocolo específico del rodeo. Se determinó una prevalencia del 20% de infecciones a *S. aureus* mediante un muestreo sistemático a partir de muestras compuestas de leche obtenidas de los cuatro cuartos mamarios. Los animales seleccionados fueron vacas multíparas con un promedio de producción láctea de 28 L/día ($SD \pm 7,57$), con menos de 6 partos y una fecha de parto estimada entre septiembre de 2012 y mayo de 2013.

Para reducir la heterogeneidad entre grupos, las vacas fueron asignadas a los tratamientos mediante un procedimiento de aleatorización en bloques. Esto permitió obtener una proporción similar de vacas según su número de parto y fecha de parto en cada grupo. Al final del ensayo clínico, el GV estuvo compuesto de 33 vacas y el GNV de 27. El esquema de vacunación consistió en 3 dosis subcutáneas a los 90, 60 y 10 días antes del parto (Pellegrino *et al.*, 2008). El personal del rodeo no tenía conocimiento del estado de vacunación de los animales.

Observaciones clínicas y cuidado de los animales

Los signos clínicos fueron monitoreados por un médico veterinario durante todo el ensayo. Se observaron la actitud general y el apetito de las vacas involucradas en el ensayo. Las ubres se palparon con el fin de detectar dolor, hinchazón, dureza y/o calor, y la apariencia de la leche se evaluó visualmente en busca de coágulos y cambios en el color o la composición al momento del ordeño.

La implementación del ensayo fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de Río Cuarto (Exp. 54/11). Todos los animales involucrados en esta investigación fueron atendidos de acuerdo con *The International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals* (2012).

Muestras de sangre

Se tomaron muestras de sangre de ambos grupos de vacas (GV y GNV) inmediatamente antes de la administración de cada dosis de vacuna, al momento del parto y 7, 14, 21 y 60 días después del parto. Se obtuvieron 10 mL de sangre de la vena coxígea en tubos estériles. Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente, se centrifugaron a $1200 \times g$ durante 10 min, se extrajeron los sueros de sangre y se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los anticuerpos sanguíneos fueron determinados con la técnica de ELISA de acuerdo con Pellegrino *et al.* (2010).



Muestras de leche

Las vacas fueron ordeñadas y las muestras de leche recolectadas asépticamente de acuerdo con el procedimiento del Consejo Nacional de Mastitis (NMC, 2004) a los 14, 21 y 60 días después del parto. Las muestras de leche fueron examinadas para bacteriología. Se extendieron diez microlitros de cada muestra de leche sobre placas de agar sangre (con 5% de sangre de oveja), se incubaron a 37 °C y se examinaron después de 24 y 48 h. Las colonias se identificaron sobre la base de la morfología, los patrones de hemólisis, la tinción de Gram y la reacción de catalasa. La prueba del tubo de coagulasa en plasma de conejo se utilizó para diferenciar *S. aureus* y estafilococos coagulasa-negativos (SCN). Se realizó una identificación adicional de acuerdo con el NMC (2004). La toma de muestras de casos de MC se realizó antes de aplicar el tratamiento. El RCS se analizó con fluorocitometría láser (Somacount 300, Bentley, EUA, 1997) según el protocolo del método 148A C, fluoro-optoelectrónico, International Dairy Federation Laboratory (1995). Se recogieron muestras de leche compuesta a los 7, 14, 21, 60 y 90 días después del parto, y los anticuerpos de la leche se determinaron mediante ELISA de acuerdo con Pellegrino *et al.* (2010).

Definición del estado de infección

Se consideró que una infección intramamaria era debida a *S. aureus* si se aislaba al menos 1 colonia (≥ 100 ufc/mL). Para SCN, la infección intramamaria se definió por el aislamiento de al menos 1 colonia (≥ 100 ufc/mL) o 2 colonias (≥ 200 ufc/mL) de una muestra con o sin MC, respectivamente (Andersen *et al.*, 2010; Dohoo *et al.*, 2011).

Producción de leche

Todas las vacas fueron ordeñadas dos veces al día y la producción de leche se registró una vez al mes hasta los 150 días después del parto. Los registros de producción de las vacas involucradas en el ensayo se obtuvieron de los controles lecheros realizados rutinariamente en el establecimiento.



Análisis estadístico y económico

Las infecciones por *S. aureus* y el RCS (en escala logarítmica) se determinaron a nivel de cuarto y la producción de leche y anticuerpos a nivel de vaca. Se ajustó un modelo mixto de medidas repetidas para evaluar el efecto del estado de vacunación sobre el RCS, las IgG y la producción láctea (log RCS, log IgG y litros de leche), considerando a los diferentes momentos del muestreo como medidas repetidas y a la vaca como efecto aleatorio. Se utilizó una estructura de correlación autorregresiva (Orden 1). Este modelo se ajustó utilizando el procedimiento MIXED (SAS, 1999). Para los resultados binarios, como las infecciones y la presencia de MC, se aplicó un modelo generalizado utilizando el procedimiento GENMOD (SAS, 1999). Todos los análisis estadísticos se realizaron con SAS (SAS Institute, Cary, Carolina del Norte, EE. UU.). Se aplicó un método de Presupuesto Parcial (PP) para evaluar el beneficio de la vacuna contra la mastitis bovina debida a *S. aureus* a nivel de vaca (Rushton, 2009). El análisis se centró en el efecto a corto plazo de la vacunación durante los primeros cinco meses de una lactancia actual. Los ingresos adicionales estuvieron representados por el incremento de la producción de leche en el GV debido a la reducción del RCS, utilizando para su cálculo la fórmula obtenida del trabajo de Dürr *et al.* (2008). El precio promedio de la leche utilizado para el análisis fue recolectado de un sitio web oficial de Argentina (Gobierno de Santa Fe, 2012 y 2013). Los costos incrementales estuvieron relacionados con los gastos de alimentación adicionales atribuidos al mayor nivel de producción de leche del GV y al costo de la vacunación. Para estimar el consumo de materia seca adicional atribuible a la mayor producción de leche en una vaca vacunada, se utilizó el software National Research Council, NRC (2001. v.1.1.9), considerando a una vaca lechera Holando Argentino de 650 kg de peso vivo. El costo de la ración (US\$/kg) se estimó utilizando los precios del mercado de Argentina (Márgenes Agropecuarios, 2012 y 2013). Por su parte, el costo del programa de inmunización completo (3 dosis) fue estimado en US\$ 3,66/vaca, según opinión de personal experto. Todas las cotizaciones de precios fueron convertidas a dólares según el índice de cambio monetario obtenido de la página oficial del Banco Nacional de Argentina, y actualizadas a mayo de 2013. Debido a que se consideraron sólo los efectos a corto plazo, se asumió que los ingresos y los costos suprimidos eran cero.

Se realizó un Análisis de Sensibilidad para probar la robustez del modelo de PP (Rushton, 2009). Se consideraron cuatro escenarios con diferentes costos de la vacuna (Tabla 3). Para cada uno, se tuvieron en cuenta además cambios en el precio de la leche



(\$/L) y en el costo de la comida (\$/kg). Se utilizó un rango de valores de precios (-20 a 50% para la leche y 0 a 40% para los alimentos) para evaluar el impacto potencial de cada variable (Tabla 3).

RESULTADOS

Animales e inmunización

En el presente estudio, no se encontraron reacciones secundarias o anormales debido a la vacunación en vacas ni en terneros, tal como se observó en informes anteriores (Pellegrino *et al.*, 2008; Pellegrino *et al.*, 2010). La rutina de los animales se vio mínimamente afectada durante el ensayo.

Detección de anticuerpos

La vacunación aumentó significativamente la cantidad de anticuerpos específicos tanto en sangre como en leche. En el GV, se observó un aumento significativo en la IgG específica total ($p=0,04$) en la sangre después de cada dosis de vacuna, alcanzando el nivel más elevado al momento del parto. Después del parto, el nivel de IgG específica disminuyó hasta un nivel similar al observado antes de la administración de la segunda dosis. Sesenta días después del parto, el nivel de anticuerpos específicos fue similar a los obtenidos antes de la dosis 3 (Fig. 1A).

El nivel de IgG en la leche del GV fue significativamente mayor que el observado en GNV ($p=0,04$) y se mantuvo elevado hasta 90 días después del parto. Se observó una diferencia significativa entre los grupos durante los días 14, 60 y 90 después del parto (Fig. 1B).

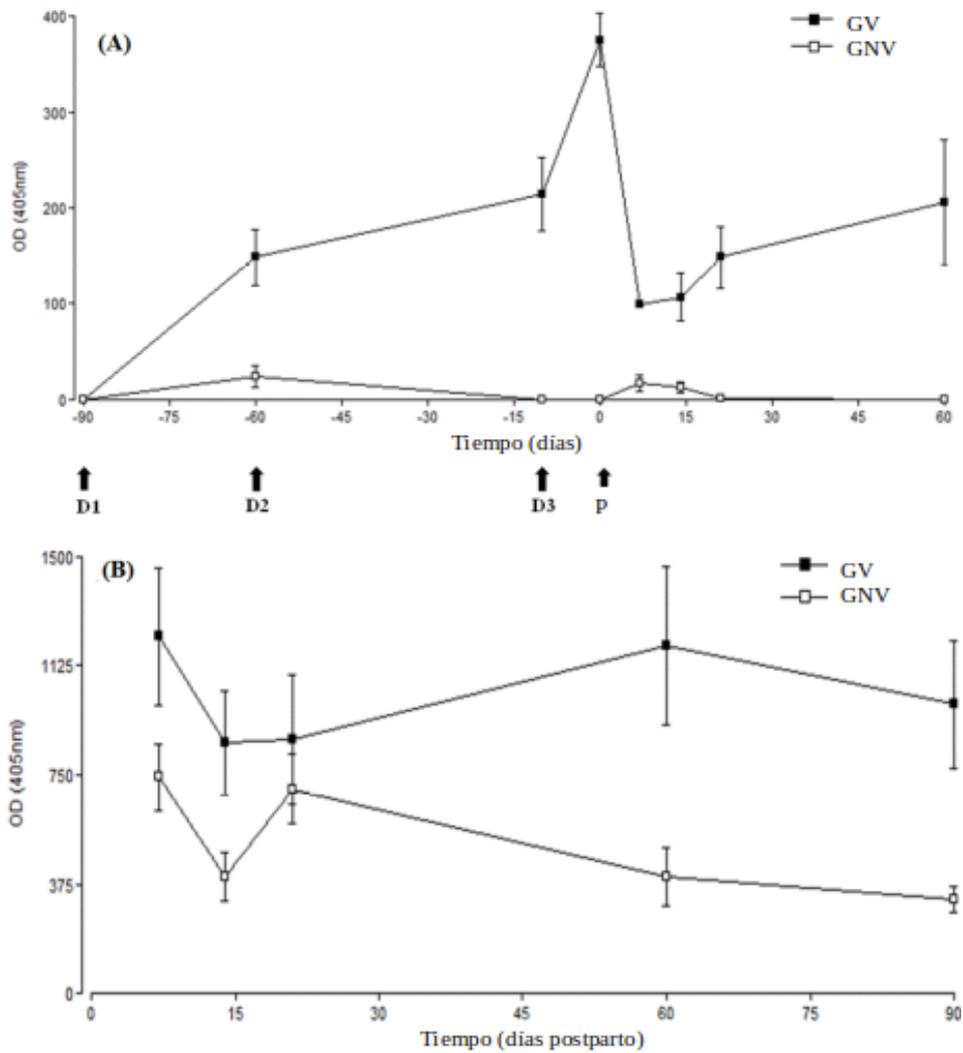


Figura 4.1. Niveles de IgG anti-*S. aureus* RC122 (media \pm EE) en sangre (A) y leche (B) en vacas vacunadas (GV) y no vacunadas (GNV) determinados por ELISA. DO: Densidad Óptica. D1, D2 y D3: Dosis de la vacuna a los 90, 60 y 10 días previos al parto, respectivamente. P: Parto.

Infecciones por *S. aureus*, RCS y producción de leche

El nivel de RCS se determinó a los días 14, 21 y 60 después del parto. A lo largo del ensayo, se observó una disminución significativa ($p=0,04$) en el RCS de los cuartos del GV. Las medias y desvíos de RCS de ambos grupos se muestran en la Tabla 4.1.

La producción promedio de leche en el GV fue 2,49 L/vaca/día (8%) mayor que en el GNV ($p=0,08$) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Producción diaria de leche (L) y Recuento de células somáticas en leche (RCS) en vacas vacunadas (GV) y no vacunadas (GNV).

Grupo	Leche (L/día) ^a		RCS ($\times 10^3$) cél/mL ^b	
	Media	EE	Media	EE
GV	31,10	0,99	141,54	1,14
GNV	28,81	1,09	211,60	1,16
GV-GNV	+2,49 (7,94%)*		-70,06 (33,11%)**	

a. Determinado mensualmente hasta los 150 días posparto.

b. Determinado hasta los 60 días posparto.

*($p=0,08$).**($p=0,04$)

En cuanto al aislamiento de *S. aureus* y SCN, las diferencias encontradas entre el GV y GNV no fueron significativas ($p=0,2$). A lo largo del ensayo, se observó MC de *S. aureus* en 2 y 3 vacas de GV y GNV, respectivamente. Además, se observó MC causada por SCN en 2 y 1 vacas de GV y GNV, respectivamente. Los animales enfermos fueron separados del rodeo y tratados con antibióticos.

Resultado económico

La diferencia en la producción de leche estimada en una vaca vacunada a través de la metodología aplicada por Dürr *et al.*, (2008) fue de 0,3 L/día, por lo que una vaca de GV produjo una cantidad extra promedio de 45 kg de leche durante los primeros cinco meses de lactancia. Esto representó un ingreso adicional de US\$ 16,2 (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Presupuesto Parcial a corto plazo considerando el efecto del recuento de células somáticas sobre la producción de leche en vaca vacunada contra la mastitis bovina con la cepa *S. aureus* RC122.

A. Ingresos Adicionales (US\$)	B. Costos Adicionales (US\$)
Ingreso adicional por leche producida= 45 L * US\$ 0,36 ^a = US\$ 16,2	Costo de la vacunación = US\$ 1,22/dosis ^b * 3 dosis = US\$ 3,66
	Costo de alimento adicional = US\$ 0,25/kg ^c * 15 kg = US\$ 3,75
C. Costos Suprimidos (US\$)	D. Ingresos Suprimidos (US\$)
Cero	Cero
A+C = US\$ 16,2	B+D = US\$ 7,41
Beneficio Neto = (A + C) - (B + D) = US\$ 8,79	
<p>a. Precio promedio del litro de leche extraído de página oficial (www.santafe.gov.ar) utilizando la conversión de peso Argentino/dólar estadounidense según el sitio del Banco de la Nación Argentina (Octubre 2012 a Mayo 2013).</p> <p>b. Precio sugerido por persona calificada.</p> <p>c. Precio promedio de las raciones obtenido de Revista Argentina “Márgenes Agropecuarios”, 2012 (N ° 328-330), 2013 (N°331-335).</p>	

En cuanto a los costos, la vacunación (US\$ 3,66/vaca) y los costos adicionales de alimentación (US\$ 3,75) sumaron US\$ 7,41. Por lo tanto, el beneficio neto fue de US\$ 8,79/vaca en un período de 5 meses después del parto. Los resultados del Análisis de Sensibilidad se muestran en la Tabla 4.3. El beneficio neto siempre se mantuvo positivo para el costo de la vacuna de 4 escenarios, incluso a los precios más bajos de la leche y al mayor costo de los alimentos. Los resultados de PP en los Análisis de Sensibilidad variaron de US\$ 5,04 a 15,42.

Tabla 4.3. Beneficio Neto de acuerdo a diferentes escenarios de costos de la vacuna (US\$ 0,92; 1,22; 1,40 y 1,59), precios de la leche (L1; L2; L3; L4; L5 y L6) y costos de alimentación (A1; A2; A3; A4 y A5) teniendo en cuenta el efecto del recuento de células somáticas sobre la producción de leche en vaca vacunada contra la mastitis bovina con la cepa *S. aureus* RC122.

	A1 (0%= 0,25)	A2 (+10%=0,275)	A3 (+20%= 0,3)	A4 (+30%=0,325)	A5 (+40%=0,35)
Costo de la dosis= 0,92 (-25%)					
L1 (-20%= 0,29)	6,54	6,17	5,79	5,42	5,04
L2 (-10%= 0,32)	7,89	7,52	7,14	6,77	6,39
L3 (0%=0,36)	9,69	9,32	8,94	8,57	8,19
L4 (10%= 0,4)	11,49	11,12	10,74	10,37	9,99
L5 (30%=0,47)	14,64	14,27	13,89	13,52	13,14
L6 (50%= 0,54)	17,79	17,42	17,04	16,67	16,29
Costo de la dosis= 1,22 (0%)					
L1 (-20%= 0,29)	5,64	5,27	4,89	4,52	4,14
L2 (-10%= 0,32)	6,99	6,62	6,24	5,87	5,49
L3 (0%=0,36)	8,79	8,42	8,04	7,67	7,29
L4 (10%= 0,4)	10,59	10,22	9,84	9,47	9,09
L5 (30%=0,47)	13,74	13,37	12,99	12,62	12,24
L6 (50%= 0,54)	16,89	16,52	16,14	15,77	15,39
Costo de la dosis= 1,40 (20%)					
L1 (-20%= 0,29)	4,92	4,55	4,17	3,80	3,42
L2 (-10%= 0,32)	6,27	5,90	5,52	5,15	4,77
L3 (0%=0,36)	8,07	7,70	7,32	6,95	6,57
L4 (10%= 0,4)	9,87	9,50	9,12	8,75	8,37
L5 (30%=0,47)	13,02	12,65	12,27	11,90	11,52
L6 (50%= 0,54)	16,17	15,80	15,42	15,05	14,67
Costo de la dosis= 1,59 (40%)					
L1 (-20%= 0,29)	4,17	3,80	3,42	3,05	2,67
L2 (-10%= 0,32)	5,52	5,15	4,77	4,40	4,02
L3 (0%=0,36)	7,32	6,95	6,57	6,20	5,82
L4 (10%= 0,4)	9,12	8,75	8,37	8,00	7,62
L5 (30%=0,47)	12,27	11,90	11,52	11,15	10,77
L6 (50%= 0,54)	15,42	15,05	14,67	14,30	13,92

DISCUSIÓN

Una vez que una vacuna ha sido evaluada por medio de un desafío experimental (Pellegrino *et al.*, 2011), la evaluación de su efectividad requiere el diseño de ensayos de campo. Los estudios que llevan a cabo evaluaciones de infecciones naturales son extremadamente importantes, considerando que permiten experimentar con una gran cantidad de animales bajo diferentes condiciones de manejo, con diversos niveles de prevalencia y con cepas que varían entre los diferentes rodeos (Pereira *et al.*, 2011). En el presente estudio, se evaluó la eficacia de la vacunación con la cepa RC122 contra la mastitis bovina en condiciones de campo. Entre otros, tres características fueron muy importantes para el diseño del ensayo: el procedimiento de aleatorización, la elevada prevalencia de *S. aureus* en el rodeo al momento de comenzar el ensayo y el hecho de que el personal del rodeo no conocía el estado de vacunación de los animales.

Se evaluó la respuesta de anticuerpos específicos contra la cepa RC122 después de la aplicación de 3 dosis subcutáneas de la vacuna antes del parto. Los niveles de anticuerpos específicos en sangre y leche de vacas vacunadas fueron más altos que en el GNV, y en concordancia con los hallazgos obtenidos en el desafío experimental previo realizado en vaquillonas (Pellegrino *et al.*, 2008; Pellegrino *et al.*, 2010). Los altos niveles de anticuerpos específicos en sangre y leche de vacas vacunadas en el peri-parto (Fig. 1A) sugieren que el calendario de vacunación utilizado y las propiedades particulares de la cepa mutante avirulenta (un gran conjunto de antígenos) permitieron un fuerte efecto inmunogénico en vacas durante un largo período de tiempo (90 días después del parto). Al momento del parto, el nivel de IgG en la sangre disminuye considerablemente (Sordillo, 2005) y se observa un elevado transporte de anticuerpos (principalmente IgG₂) al calostro (Kehrli y Harp, 2001). Esa puede ser una explicación plausible de la tendencia decreciente de los niveles de IgG en sangre y el alto nivel de IgG₂ en calostro y leche (datos no mostrados) observados en el GV después del parto.

En condiciones naturales, se observan altos niveles de RCS en la leche inmediatamente después del parto (Barkema *et al.*, 1999). Estos niveles de RCS se mantendrían elevados durante algunas semanas independientemente de la presencia o ausencia de infección y prepararían la ubre para el inicio de la nueva lactancia (Plastridge, 1958; Bradley y Green, 2005). Después de ese período, prevalecerá un alto RCS entre los animales infectados. Los bajos niveles de RCS observados en el GV después del día 14 y



durante todo el período del experimento representan una evidencia indirecta de la eficacia en el control de la infección entre las vacas vacunadas. Se han informado resultados análogos para otras vacunas evaluadas (Chang *et al.*, 2008; Leitner *et al.*, 2003a y 2003b).

Las tasas de infección por *S. aureus* no fueron estadísticamente diferentes entre el GV y el GNV. Este hallazgo inesperado, similar al obtenido en trabajos previos demostró que, no siempre bajo condiciones de campo (Leitner *et al.*, 2003b) o en desafíos experimentales (Hoedemaker *et al.*, 2001; O'Brien *et al.*, 2002; Carter y Kerr, 2003; Lee *et al.*, 2005; Kauf *et al.*, 2007; Middleton *et al.*, 2009), es factible detectar diferencias entre ambos grupos.

Durante todo el período de monitoreo, las vacas vacunadas mostraron un mayor rendimiento en la producción de leche (2,49 L/vaca/día) si bien éste no fue estadísticamente significativo ($p=0,08$). Sin embargo, las diferencias productivas entre las vacas de ambos grupos también pueden ser estimadas y deducidas por medio de los niveles de RCS (Dohoo y Leslie, 1991; Dürr *et al.*, 2008), tal como se ha hecho en esta investigación.

En una revisión sistemática se analizan las ventajas en el uso de vacunas para controlar la mastitis (Mata, 2013). En la misma, el autor destaca la importancia de ponderar el efecto biológico y los costos para la prescripción de cualquier vacuna. Según diversos informes, el costo de un programa de vacunación completo (3 dosis) es de entre \$ 12 y \$ 15,44/vaca (Balsom, 2011). En este ensayo, el costo del programa de vacunación completo con la cepa RC122 se estimó en US\$ 3,66/vaca. En comparación con los costos mencionados anteriormente, la vacunación con la cepa RC122 representa un costo 4 veces menor. El beneficio económico neto de la vacunación (US\$ 8,79/vaca analizado en la PP en un período de 5 meses después del parto) resultó positivo. Considerando los datos obtenidos en el Análisis de Sensibilidad del PP, el beneficio neto llegaría a ser cero sólo si, el precio del litro de leche disminuye un 54% o los costos de alimentación (kg) aumentan 345% o el precio de la vacuna se eleva un 340% sobre el precio base. La variable de mayor impacto en el beneficio neto fue el precio de la leche. Incluso bajo las peores condiciones (40% de aumento en el costo de la vacuna, 20% de reducción en el precio base de la leche y 50% de aumento en los costos de alimentación), la ganancia neta del PP fue positiva (Tabla 3). Estos hallazgos facilitarían la adopción de la vacuna en condiciones comerciales para mejorar así la salud mamaria de los rodeos lecheros.



CONCLUSIÓN

Los resultados indican que el esquema de vacunación (3 dosis subcutáneas de la vacuna administradas a los 90, 60 y 10 días antes del parto) bajo condiciones de campo, aumenta el nivel de IgG específica observada en sangre y leche, promueve menores niveles de RCS y mejora el rendimiento productivo en el GV. Además, el esquema de vacunación sería económicamente eficiente incluso bajo el escenario de precios más conservador.

El uso de esta vacuna como herramienta de prevención y control contra la mastitis bovina debida a *S. aureus* estaría económicamente justificada dado su efecto beneficioso sobre la salud mamaria y su bajo costo de implementación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen S, Dohoo IR, Olde Riekerink R, Stryhn H, and Mastitis Research Workers' Conference. (2010). Diagnosing intramammary infections: Evaluating expert opinions on the definition of intramammary infection using conjoint analysis. *J Dairy Sci* 93: 2966–2975. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2726>.
- Barkema HW, Deluyker HA, Schukken YH, Lam TJGM. (1999). Quarter-milk somatic cell count at calving and at the first six milkings after calving. *Prev Vet Med* 38: 1-9.
- Barkema HW, Schukken YH, Zadoks RN. (2006). The role of cow, pathogen and treatment regimen in the therapeutic success of bovine *Staphylococcus aureus* mastitis. *J Dairy Sci* 6: 1877–1895. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72256-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72256-1).
- Bogni C, Segura M, Giraudó J, Giraudó A, Calzolari A, Nagel R. (1998). Avirulence and immunogenicity in mice of a bovine mastitis *Staphylococcus aureus* mutant. *Can J Vet Res* 62: 235–239.
- Bogni CI, Odierno LM, Raspanti C, Giraudó JA, Larriestra AJ, Reinoso E, Lasagno M, Ferrari M, Ducrós E, Frigerio C, Bettera S, Pellegrino M, Frola I, Dieser S, Vissio C. (2011). *War against mastitis: Current concepts on controlling bovine mastitis pathogens*. In: Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances. Microbiology book series N°3(1). A. Méndez Vilas. (pp. 483–494).
- Bradley AJ. (2002). Bovine Mastitis: An Evolving Disease. *Vet J* 164: 116–128.
- Bradley AJ, Green MJ. (2005). Use and interpretation of somatic cell count data in dairy cows. *In Practice* 27: 310–315. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/inpract.27.6.310>.
- Bramley A, Cullor J, Erskine R, Fox L, Harmon R, Hogan J, Nickerson S, Oliver S, Larry Smith K, Sordillo L. (2003). *Current concepts of bovine mastitis*. (4ta ed.). 421 S. Nine Mound Rd. Verona, WI: National Mastitis Council Publications.
- Calzolari A, Giraudó JA, Rampone H, Odierno LM, Giraudó AT, Frigerio C, Bettera S, Raspanti C, Hernández J, Wehbe M, Mattea M, Ferrari M, Larriestra A, Nagel R. (1997). Field trials in Argentina of a vaccine against bovine mastitis. 2. Evaluation in two dairy herds. *J Dairy Sci* 80: 854–858. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76007-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76007-7).



- Carter EW, Kerr DE. (2003). Optimization of DNA-based vaccination in cows using green fluorescent protein and protein A as a prelude to immunization against staphylococcal mastitis. *J Dairy Sci* 4: 1177–1193. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73701-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73701-1).
- Chang BS, Moon JS, Kang HM, Kim YI, Lee HK, Kim JD, Lee BS, Koo HC, Park YH. (2008). Protective effects of recombinant staphylococcal enterotoxin type C mutant vaccine against experimental bovine infection by a strain of *Staphylococcus aureus* isolated from subclinical mastitis in dairy cattle. *Vaccine* 26: 2081–2091. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2008.02.043>.
- Dallard BE, Pujato SA, Baravalle C, Pereyra EAL, Rey F, Renna MS, Calvino LF. (2013). Intramammary infusion of Panax ginseng extract in the bovine mammary gland at cessation of milking modifies components of the insulin-like growth factor system during involution. *Res Vet Sci* 94: 462–470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.01.009>.
- Dekkers JC, Van Erp T, Schukken YH. (1996). Economic benefits of reducing somatic cell count under the milk quality program of Ontario. *J Dairy Sci* 79: 396–401. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76378-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76378-6).
- Dieser SA, Vissio C, Lasagno M, Bogni CI, Larriestra AJ, Odierno LM. (2013). Prevalence of pathogens causing subclinical mastitis in Argentinean dairy herds. *Pak Vet J* 34: 124–126.
- Dodd FH, Westgarth DR, Neave FK, Kingwill RG. (1969). Mastitis: the strategy of control. *J Dairy Sci* 52: 689–695. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86631-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86631-2).
- Dohoo IR, Leslie KE. (1991). Evaluation of changes in somatic cell counts as indicators of new intramammary infections. *Prev Vet Med* 10: 225–237.
- Dohoo IR, Smith J, Andersen S, Kelton DF, Godden S and Mastitis Research Workers' Conference. (2011). Diagnosing intramammary infections: Evaluation of definitions based on a single milk sample. *J Dairy Sci* 94: 250–261. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86631-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86631-2).
- Dua K. (2001). Incidence, etiology and estimated loss due to mastitis in India - An update. *Indian Dairyman* 53: 41–48.
- Dürr JW, Cue RI, Monardes HG, Moro-Méndez J, Wade KM. (2008). Milk losses associated with somatic cell counts per breed, parity and stage of lactation in



- Canadian dairy cattle. *Livest Sci* 117: 225–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.12.004>.
- Espeche MC, Otero MC, Sesma F, Nader-Macías MEF. (2009). Screening of surface properties and antagonistic substances production by lactic acid bacterial isolated from the mammary gland of healthy and mastitic cows. *Vet Microbiol* 135: 346–357. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.09.078>.
- Espeche MC, Pellegrino M, Frola I, Larriestra A, Bogni C, Náder-Macías MEF. (2012). Lactic acid bacteria from raw milk as potentially beneficial strains to prevent bovine mastitis. *Anaerobe* 18: 103–109. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.01.002>.
- Frola ID, Pellegrino MS, Espeche MC, Giraudo JA, Nader-Macías MEF, Bogni CI. (2012). Effects of intramammary inoculation of *Lactobacillus perolens* CRL1724 in lactating cows' udders. *J Dairy Res* 79: 84–92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029911000835>.
- Frola ID, Pellegrino MS, Magnano G, Giraudo JA, Espeche MC, Nader-Macías MEF, Bogni CI. (2013). Histological examination of non-lactating bovine udders inoculated with *Lactobacillus perolens* CRL 1724. *J Dairy Res* 80: 28–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029912000581>.
- Giraudo JA, Calzolari A, Rampone H, Rampone A, Giraudo AT, Bogni C, Larriestra A, Nagel R. (1997). Field trials in Argentina of a vaccine against bovine mastitis. 1. Evaluation in heifers. *J Dairy Sci* 80: 845–853. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76006-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76006-5).
- Hoedemaker M, Korff B, Edler B, Emmert M, Bleckmann E. (2001). Dynamics of *Staphylococcus aureus* infections during vaccination with an autogenous bacterin in dairy cattle. *J Vet Med B: Infect Dis Vet Public Health* 48: 373–383.
- Hogeveen H, Huijps K, Lam TJ. (2011). Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zeal Vet J* 59: 16–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>.
- International Dairy Federation Laboratory. (1995). *Milk and Milk Products: Q4 544 Detection of Salmonella*. IDF Standard 93B:1005. Brussels, Belgium.
- Kauf ACW, Vinyard BT, Bannerman DD. (2007). Effect of intramammary infusion of bacterial lipopolysaccharide on experimentally induced *Staphylococcus aureus* intramammary infection. *Res Vet Sci* 1: 39–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2006.05.006>.



- Kehrli ME, Harp JA. (2001). Immunity in the mammary gland. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 17: 495–516.
- Klostermann K, Crispie F, Flynn J, Ross RP, Hill C, Meaney W. (2008). Intramammary infusion of a live culture of *Lactococcus lactis* for treatment of bovine mastitis: Comparison with antibiotic treatment in field trials. *J Dairy Res* 75: 365–373. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029908003373>.
- Larsen MW, Moser C, Hoiby N, Song Z, Kharazmi A. (2004). Ginseng modulates the immune response by induction of interleukin-12 production. *Acta Pathol Microbiol Immunol Scand* 112: 369–673.
- Lee JW, O'Brien CN, Guidry AJ, Paape MJ, Shafer-Weaver KA, Zhao X. (2005). Effect of a trivalent vaccine against *Staphylococcus aureus* mastitis lymphocyte subpopulations, antibody production, and neutrophil phagocytosis. *Can J Vet Res* 1: 11–18.
- Leitner G, Lubachevsky E, Glikman E, Winkler M, Saran A, Trainin Z. (2003a). Development of a *Staphylococcus aureus* vaccine against mastitis in dairy cows. I. Challenge trials. *Vet Immunol Immunopathol* 93: 31–38.
- Leitner G, Yadlin N, Lubashevsky E, Ezra E, Glickman A, Chaffer M, Winkler M, Saran A, Trainin Z. (2003b). Development of a *Staphylococcus aureus* vaccine against mastitis in dairy cows. II. Field trial. *Vet Immunol Immunopathol* 93: 153–158.
- Mamo W, Jonsson P, Flock JI, Lindberg M, Müller HP, Wadström T, Nelson L. (1994). Vaccination against *Staphylococcus aureus* mastitis: immunological response of mice vaccinated with fibronectin-binding protein (FnBP-A) to challenge with *S. aureus*. *Vaccine* 12: 988–992.
- Mata F. (2013). Mastitis vaccination in dairy cattle: a meta-analysis of field case-control trials. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 108: 17–22.
- Middleton JR. (2008). *Staphylococcus aureus* antigens and challenges in vaccine development. *Expert Rev Vaccines* 7: 805–815. DOI: <http://dx.doi.org/10.1586/14760584.7.6.805>.
- Middleton JR, Luby CD, Scott Adams D. (2009). Efficacy of vaccination against staphylococcal mastitis: a review and new data. *Vet Microbiol* 1–2: 192–198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.09.053>.
- Monecke S, Kuhnert P, Hotzel H, Slickers P, Ehricht R. (2007). Microarray based study on virulence-associated genes and resistance determinants of *Staphylococcus aureus*



- isolates from cattle. *Vet Microbiol* 125: 128–140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.05.016>.
- National Mastitis Council. (2004). *Microbiological procedures for the diagnosis of bovine udder infection and determination of milk quality*. (4ta ed.). Fort Atkinson, WI: National Mastitis Council, W. D. Hoard and Sons Co.
- Nour El-Din AN, Shkreta L, Talbot BG, Diarra MS, Lacasse P. (2006). DNA immunization of dairy cows with the clumping factor A of *Staphylococcus aureus*. *Vaccine* 24, 1997–2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2005.11.033>.
- NRC. National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle, 2001. Seventh Revised Ed. Version. 1. 1. 9 (December 2012).
- O'Brien CN, Guidry AJ, Fattom A, Shepherd S, Douglass LW, Westhoff DC. (2002). Production of antibodies to *Staphylococcus aureus* serotypes 5, 8, and 336 using poly (DL-lactide-co-glycolide) microspheres1. *J Dairy Sci* 8: 1758–1766. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75046-6](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75046-6).
- Pellegrino MS, Giraudo J, Raspanti C, Nagel R, Odierno LM, Primo V, Bogni C. (2008). Experimental trial in heifers vaccinated with *Staphylococcus aureus* avirulent mutant against bovine mastitis. *Vet Microbiol* 127: 186–190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.07.028>.
- Pellegrino MS, Giraudo J, Raspanti C, Odierno LM, Bogni CI. (2010). Efficacy of immunization against bovine mastitis using a *Staphylococcus aureus* avirulent mutant vaccine. *Vaccine* 28: 4523–4528. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.04.056>.
- Pellegrino MS, Bogni CI. (2011). Mastitis bovina: Ensayos de vacunación con la cepa *S. aureus* RC122. Sarbrücken, Germany: Ed. Académica Española/LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH and Co.
- Pereira UP, Oliveira DGS, Mesquita LR, Costa GM, Pereira LJ. (2011). Efficacy of *Staphylococcus aureus* vaccines for bovine mastitis: A systematic review. *Vet Microbiol* 148: 117–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.10.003>.
- Plastridge WN. (1958). Bovine mastitis: A review. *J Dairy Sci* 41: 1141–1181. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(58\)91071-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(58)91071-3).
- Poutrel B, Boutonnier A, Sutra L, Fournier JM. (1988). Prevalence of capsular polysaccharide types 5 and 8 among *Staphylococcus aureus* isolates from cow, goat, and ewe milk. *J Clin Microbiol* 26: 38–40.



- Reinoso E, Giraud J, Magnano G, Calzolari A, Bogni C. (2002). Bovine and rabbit models for the study of a *Staphylococcus aureus* avirulent mutant RC122. *Can J Vet Res* 66: 285–288.
- Rushton J. (2009). *The economics of Animal Health & Production*. Wallingford, UK: CABI. (pp 1–384).
- SAS OnlineDoc, Version 8. 1999. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Sordillo LM. (2005). Factors affecting mammary gland immunity and mastitis susceptibility. *Livest Prod Sci* 98: 89–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.10.017>.
- The International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (2012). Recuperado el 13 de septiembre de 2015 en https://olaw.nih.gov/sites/default/files/Guiding_Principles_2012.pdf.
- Vissio C, Agüero DA, Raspanti CG, Odierno LM, Larriestra AJ. (2015). Productive and economic daily losses caused by mastitis and expenditures derived from its control in dairy farms in Córdoba, Argentina. *Arch Med Vet* 47: 7–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100003>.
- Zeconni A, Bronzo V, Casula A, Luzzago C, Moroni P, Piccinini R, Spreafico G. (1999). Efficacy of a biological response modifier in preventing *Staphylococcus aureus* intramammary infections after calving. *J Dairy Sci* 82: 2101–2107. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75452-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75452-4).



Capítulo V

Modelo de simulación del impacto productivo y económico de la mastitis en tambos de Argentina

Parte de este trabajo fue comunicado en ASAS-ASSA®-CSAS-WSASAS Joint Annual Meeting, 19 a 23 de Julio de 2016 y publicado en Journal of Animal Science, Vol. 94, E-Suppl. 5/Journal of Dairy Science, Vol. 99, E-Suppl. 1. Sec 1224, p. 579.

Disponible en sitio web provisorio: <http://200.7.128.5/simulate/TamboWeb/>



RESUMEN

La mastitis bovina es la enfermedad de mayor impacto en la lechería mundial. Una de las causas de la falta de adopción de esquemas para su control se relaciona con la subestimación de las pérdidas económicas por parte del productor. Una herramienta que valore las consecuencias productivas y económicas de la mastitis sería relevante para el sector lechero. El objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo que pronostique el efecto biológico y económico de la mastitis debida a *Staphylococcus aureus*. Un modelo dinámico estocástico de eventos discretos, simuló la evolución de un rodeo lechero de 200 vacas Holando Argentino contemplando aspectos reproductivos y productivos y el impacto de la mastitis debida a *S. aureus* sobre los mismos. Los parámetros requeridos se obtuvieron a partir de la evidencia científica disponible y de datos de la región. Se evaluaron diferentes escenarios con medidas de control recomendadas. Los niveles de infección se redujeron significativamente en aquellos rodeos que aplicaban algún tipo de intervención. La mediana quincenal de la prevalencia para MC y MSC debidas a *S. aureus* en el rodeo sin intervención fue de 0,09 y 0,64, respectivamente. Para los rodeos con intervención, la misma fue prácticamente cero. Las pérdidas de litros y fallas reproductivas debidas a MSC fueron superiores a las producidas por MC, aunque en diferentes niveles según el escenario evaluado. Las pérdidas de producción se redujeron significativamente de 832 L/VO/año (rodeo sin intervención) a menos de 23 L/VO/año en rodeos que aplicaban medidas de control. En estos últimos, el costo total fue de alrededor de US\$ 37/VO/año, siendo económicamente eficientes en comparación al rodeo sin intervención (costo total: US\$ 260/VO/año). El modelo cuantificó el efecto productivo de la mastitis donde el mayor impacto se vio reflejado en las pérdidas de litros de leche en comparación con las pérdidas reproductivas. Se estimó el efecto económico de la mastitis para diferentes escenarios de intervención, donde la implementación de 4 o 5 puntos de control de la mastitis fue económicamente eficiente. El modelo desarrollado constituye una herramienta que brindará a productores y veterinarios un soporte para la toma de decisiones.

INTRODUCCIÓN

La mastitis bovina es la enfermedad de la producción de mayor impacto económico en la lechería mundial (Hogeveen *et al.*, 2011). El sector lechero nacional ha venido experimentando en los últimos años, cambios en el tamaño de los rodeos y ha adoptado diferentes grados de intensificación en el manejo de los animales. La mastitis es una enfermedad compleja y, al igual que otras entidades biológicas, se ve modificada por el entorno de producción y la presión de control (Hogeveen *et al.*, 2011). En Argentina, los últimos reportes disponibles provenientes de estudios epidemiológicos informan que *S. aureus* sería aún el patógeno predominante (Dieser *et al.*, 2013).

Las pérdidas económicas atribuidas a la mastitis han sido contabilizadas como millonarias en estudios realizados en los años 80 (González *et al.*, 1977). Investigaciones recientes han revelado pérdidas de aproximadamente de 1 dólar por vaca/día y con mermas en la producción que llegaron a impactar, en promedio, en un 16% de los ingresos brutos diarios, aunque con una gran variación entre predios (Vissio *et al.*, 2015). Sin embargo, estas cifras constituyen subestimaciones de las pérdidas reales ya que no involucraron, entre otros efectos, la pérdida de leche a lo largo de una lactación. Según Wilson *et al.* (2004), posteriormente a la cura clínica, una vaca puede perder hasta 335 L entre ese momento y el final de esa lactancia, hallazgos que son concordantes con resultados de investigaciones realizadas en Argentina (Tirante *et al.*, 2013).

En un estudio prospectivo colaborativo, se evaluaron los costos indirectos asociados a la mastitis clínica (MC), reportándose pérdidas de alrededor de 4,50 dólares/vaca en ordeño (VO) (Richardet *et al.*, 2016). Además de estos efectos en producción, tanto la MC como la subclínica (MSC), son responsables de un mayor riesgo de fallas reproductivas (Santos *et al.*, 2004), y han sido asociadas a un incremento en las probabilidades de descarte y muerte (Halasa *et al.*, 2007, Hogeveen *et al.*, 2011; Tirante *et al.*, 2013).

La gran disparidad del impacto económico observada entre los productores se debería, en parte, a la falta de implementación de un programa de salud mamaria adecuado y consistente en el tiempo. En este sentido, Vissio *et al.* (2013) caracterizaron y tipificaron dos grupos de productores de acuerdo al manejo de salud mamaria aplicado en el predio y observaron que la calidad de la leche producida era muy diferente. Sobre los mismos establecimientos, Richardet *et al.* (2012), demostraron las ventajas económicas de aplicar esas buenas prácticas.



Una de las causales de la falta de adopción de esquemas de control adecuados para esta enfermedad, se relaciona con la subestimación de las pérdidas económicas por parte del productor (Valeeva *et al.*, 2007). De modo que la disponibilidad de una herramienta que valore estimativamente las consecuencias productivas y económicas de la enfermedad sería relevante para el sector lechero y contribuiría a una mayor difusión en la adopción de buenas prácticas en los rodeos.

Capturar la complejidad del efecto productivo y económico de la mastitis en el rodeo demanda de modelos (Thrusfield, 2007). La utilización de métodos de simulación estocástica ha sido ampliamente sugerida como un modo relevante para evaluar si la implementación de diferentes estrategias de control es viable desde el punto de vista económico (Allore y Erb, 1999; Seegers *et al.*, 2003). Con el propósito de simular el efecto de la mastitis y evaluar cursos de acción en el control, se han desarrollado modelos adaptados a la lechería estadounidense y europea (Allore y Erb, 1998; Seegers *et al.*, 2003; Ostergaard *et al.*, 2005; Hagnestam-Nielsen y Ostergaard, 2009; Halasa *et al.*, 2009; Geary *et al.*, 2012; Halasa, 2010; Gussmann *et al.*, 2018), no existiendo antecedentes de desarrollo equivalentes para sistemas de producción nacional.

En cuanto al enfoque metodológico, los modelos de Simulación de Eventos Discretos permiten estudiar sistemas y procesos cuyos estados van cambiando con el tiempo de manera discreta y conceptualizar el curso de una enfermedad y de su manejo, cuyo impacto afecta tanto a los individuos como a otros componentes del sistema (por ejemplo, el uso de recursos). En estos tipos de modelos, es posible representar el curso de una enfermedad en tiempo real, con pocas restricciones, evaluando los cambios de estados de cada individuo durante el tiempo de ejecución. Además, estos modelos registran la historia de la enfermedad y logran una mayor validez y una mejor toma de decisiones (Allore y Erb, 1999; Rodríguez Barrios *et al.*, 2008; Halasa *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes estrategias de control de la mastitis bovina a *S. aureus* mediante el desarrollo de un modelo matemático que pronostique el efecto biológico y económico de la enfermedad en rodeos lecheros.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Estructura del modelo:

El modelo está implementado en la plataforma C y es tipo dinámico estocástico y basado en la Simulación de Eventos Discretos. Se simularon vacas de tambo Holando Argentino a partir de un estado inicial según los datos del rodeo reportados por el productor el día del análisis. Los parámetros utilizados en el modelo se obtuvieron de la sistematización de la evidencia científica como así también de datos de rodeos de la región (Piccardi, 2014; Tirante *et al.*, 2013) y de expertos en el área.

Los estados de cada vaca se fueron actualizando quincenalmente según lo establecido en trabajos previos (Gröhn *et al.*, 2004; Halasa *et al.*, 2009) y durante un término de tiempo determinado (uno o varios años).

En el archivo de entrada, se requirió el registro de determinados datos que caracterizaban a cada individuo para poder comenzar la simulación. Estos fueron:

1) Datos demográficos y fisiológicos:

- Código de identidad de la vaca
- Número ordinal de parto (NOP)
- Fecha parto
- Días en leche (DEL)
- Producción diaria de leche
- Quincena de gestación

2) Datos relacionados a la enfermedad al momento del análisis

- Nivel de RCS
- Presencia de MC

En la Figura 5.1, se observa el registro de datos de ingreso requeridos para poder llevar a cabo la simulación. A partir de dichos datos, se simuló el ciclo productivo-reproductivo de cada individuo, su estado de salud en relación a la mastitis (MC y MSC) y el impacto biológico de dicha enfermedad, por medio de distribuciones de probabilidad y funciones matemáticas acordes a cada evento. De esta manera, se obtuvieron parámetros de salida relacionados tanto con la eficiencia biológica como económica de cada vaca y a nivel de rodeo. El modelo se encuentra dividido en los siguientes compartimentos:

Reproductivo, Productivo, de Enfermedad, de Descarte y Resultados. En la Figura 5.2, se representan dichos módulos.

id	NOP	Quinc_Prz	DEL	prodDiaria	salud	rsc
5	2	-3	15	25.56	1	38
19	1	11	225	24.78	3	359
21	1	0	105	27.06	1	24
22	1	5	165	26.25	3	463
102	3	5	195	27.71	1	40
134	3	17	0	0.00	1	0
148	4	3	135	29.35	3	279
134	4	15	0	0.00	1	0

Figura 5.1: Datos de ingreso requeridos para poder llevar a cabo la simulación de algunas de las vacas analizadas (ID: número de registro de la vaca; NOP: número ordinal de parto; Quinc_Prz: quincena de preñez quincena de preñez; DEL: días en leche; prodDiaria: producción de leche diaria (en litros); salud, donde 1: sana, 2: MC, 3: MSC; rcs: recuento de células somáticas $\times 10^3$).

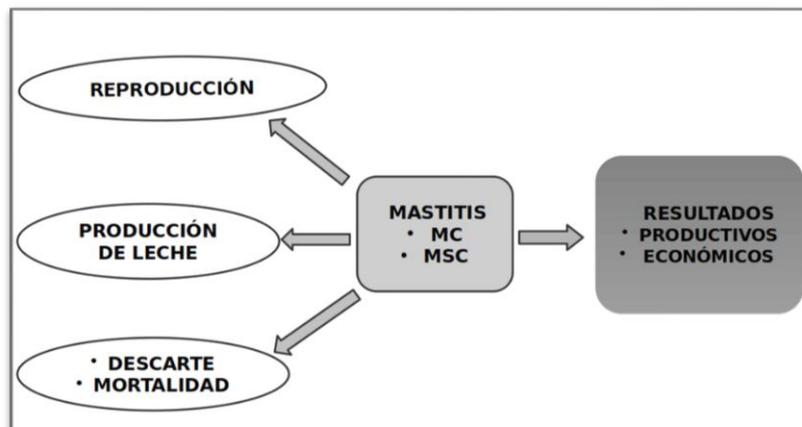


Figura 5.2: Módulos que conforman el diseño del modelo de simulación de rodeos lecheros.

Módulo Reproductivo:

Los estados en que podía encontrarse una vaca en determinada quincena eran, estar preñada o vacía. Los eventos que ocurrían en este subsistema fueron: quedar preñada, abortar o parir. Se asumió que los partos se presentaban uniformemente a lo largo del año. Posteriormente al momento del parto, la vaca tuvo un periodo de espera voluntaria de 45 días antes de comenzar a tener chances de quedar preñada. La probabilidad de quedar



preñada cada 21 días fue del 16%. La probabilidad acumulada de abortar (entre el 2° y 8° mes de gestación), fue del 14%, siguiendo las pautas de de Vries (2004) y ajustada a valores regionales obtenidos de campo (Piccardi, 2014).

Módulo Productivo:

Los estados en determinada quincena, para este módulo, fueron: estar en lactancia o estar seca. El parto indicó el comienzo de la lactancia. A partir del 5° mes posparto, cada vaca tuvo cierta probabilidad de secarse. Estas probabilidades fueron crecientes (5° mes: 0,03; 6° mes; 0,07; 7° mes: 0,90), siendo el período mínimo como vaca seca de 45 días previos al parto.

Para simular el nivel de producción de leche de cada vaca, primeramente, el modelo estimó los parámetros de la función de Wood en base a los días en lactancia y los litros diarios de cada vaca ingresados por el usuario, considerando a las vacas y vaquillonas separadamente debido a sus diferencias en la curva de producción. Una vez obtenidos dichos parámetros, se estimó la producción de cada vaca durante todo el periodo simulado.

Módulo de Descarte:

El descarte puede ser voluntario o involuntario. Una vez que la vaca alcanzó su quinto parto, no volvió a tener oportunidad de quedar preñada y fue descartada cuando finalizó su lactancia (fin de la vida útil). Si la vaca alcanzaba su décimo mes de lactancia y estaba vacía, o abortaba en cualquier momento, se descartaba inmediatamente. A su vez, la probabilidad de descarte por cualquier otro motivo (incluida la muerte) no relacionado con la mastitis dependía del NOP y DEL de cada vaca, adaptada según datos de la región (Piccardi, 2014), siguiendo una función polinomial. Cada vez que una vaca era descartada o moría, la misma era reemplazada en la quincena siguiente por una vaquillona de primer servicio preñada en su 9° mes de gestación (Allore *et al.*, 1998). De esta manera, la población del rodeo se mantuvo constante.

Módulo de enfermedad:

El modelo utilizado para simular la dinámica de la mastitis, fue una variante de los modelos epidémicos de enfermedad infecciosa clásica (SIR), con modificaciones específicas para la mastitis considerando: 1) la ausencia aparente de un período de latencia,



y 2) la infección recurrente debido a la aparente ausencia o muy corta duración de la inmunidad.

Se simuló la enfermedad debida a *S. aureus* como representante de las infecciones intramamarias contagiosas. Las infecciones fueron consideradas a nivel de vaca, independientemente del número de cuartos afectados. Los estados para cada vaca involucrados en este subsistema fueron: estar sana, con MC o con MSC. Para ello, el modelo utilizó probabilidades relacionadas a la transmisión de la enfermedad, a la curación clínica y subclínica, al recrudescimiento de casos subclínicos a clínicos y a la remisión de casos clínicos a subclínicos.

Dinámica de la infección en vacas en lactancia:

Para iniciar la simulación, a las vacas en lactancia se les asignó el estado de infección debido a *S. aureus* con una determinada probabilidad, teniendo en cuenta como referencia, las prevalencias obtenidas en trabajos previos realizados en rodeos de Argentina (Calvinho y Tirante, 2005).

La diseminación de este patógeno en la población de VO dependió del número de vacas susceptibles, del número de vacas infectadas y de la probabilidad de transmisión (β). Por defecto (rodeo testigo o sin intervención), se asumió una mezcla homogénea entre los individuos del rodeo, y que todas las vacas con mastitis tenían igual capacidad de infectar, independientemente de si cursaban con un cuadro clínico o subclínico.

Cuando una vaca se infectaba, tenía una determinada probabilidad de ser un caso clínico o subclínico. Si tenía MC, en la próxima quincena podía curarse (Υ_c) o remitir a una MSC (θ). Si tenía MSC, podía curarse (Υ_{sc}), pasar a un cuadro clínico (ϵ) o seguir en el mismo estado. En la Figura 5.3, se observa el esquema de la dinámica de infección utilizada para mastitis debidas a *S. aureus*.

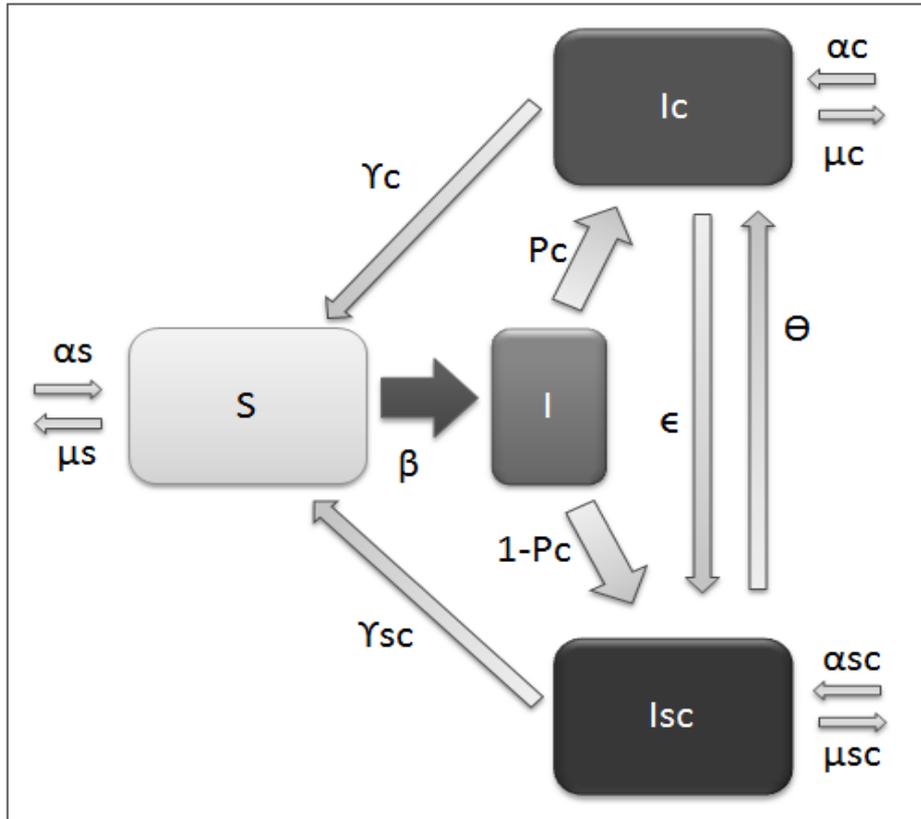


Figura 5.3: Esquema de la dinámica de infección de mastitis producidas por *S. aureus*. S: susceptibles; Ic: infectadas clínicamente; Isc: infectadas subclínicamente; β : probabilidad de transmisión; γ_c : probabilidad de curación clínica; γ_{sc} : probabilidad de curación subclínica; θ : probabilidad de recrudescimiento (de MSC a MC); ϵ : probabilidad de remisión (de MC a MSC); P_c : proporción de infectadas clínicamente; P_{sc} : proporción de infectadas subclínicamente; α : flujo de ingreso de animales a cada segmento; μ : flujo de egreso de animales de cada segmento. (Recuperado de Halasa *et al.*, 2009).

Los valores utilizados para simular dichas transiciones fueron datos promedios, obtenidos de tasas calculadas en trabajos previos (Lam *et al.*, 1996; Osteras *et al.*, 1999; Sol *et al.*, 2000; Zadoks *et al.*, 2002; Swinkels *et al.*, 2005), que posteriormente se convirtieron a probabilidades quincenales (Tabla 5.1).

Dependiendo de si se aplicaban o no determinadas medidas de prevención y control de mastitis, estas probabilidades presentaron variaciones, contemplando de esta manera el efecto de dichas medidas sobre la enfermedad.

Tabla 5.1: Probabilidades de transición quincenales utilizadas para las infecciones por *S. aureus* en vacas en lactancia en el rodeo testigo o sin intervención.

Probabilidad de Transmisión	β	0,50 ¹
Probabilidad de Curación Clínica	Υ_c	0,03 ²
Probabilidad de Curación Subclínica	Υ_{sc}	0,10 ³
Probabilidad de Recrudescimiento (de MSC a MC)	Θ	0,12 ³
Probabilidad de Remisión (de MC a MSC)	ϵ	0,65 ³
Probabilidad de infectarse con MC	PC	0,17 ³
Probabilidad de infectarse con MSC	1-PC	0,83 ³

¹ Lam *et al.*, 1996.

² Osteras *et al.*, 1999.

³ Sol *et al.*, 2000; Zadoks *et al.*, 2002; Swinkels *et al.*, 2005.

La probabilidad de que una VO susceptible se infectara en una quincena dada (p_i), dependió del número total de vacas en lactancia, del número de vacas infectadas en la quincena previa y de la probabilidad de transmisión (β):

$$p_i = \beta * I / N,$$

Nivel de Recuento de Células Somáticas: Para vacas sanas y con nuevas MSC, los niveles de RCS se modelaron en valores menores a 50×10^3 células/mL (con una distribución normal ($N \sim 3,34$; 0,43) y con un Score (en base logarítmica natural) de ($N \sim 5,58$; 0,84), respectivamente, basados en Halasa *et al.* (2009). Si la vaca presentaba MSC en la quincena anterior, el Score de RCS (en base logarítmica natural) se modeló siguiendo una distribución de PERT (con un valor mínimo, valor más probable y valor máximo dependiendo del nivel de RCS en la quincena anterior, los DEL y el NOP de la vaca) de manera de simular una correlación entre los valores de RCS de cada vaca entre las quincenas (según Hagnestam-Nielsen y Ostergaard, 2009). El Score de RCS (en base logarítmica natural) para vacas con MC a *S. aureus* fue de ($N \sim 6,40$; 0,50) basado en Sol *et al.* (2000).

Dinámica de la infección en vacas secas:

El cambio de estado de infección entre el secado y la lactancia, ocurrió en la última quincena previa al parto. Las probabilidades de transición de cura y de nuevas infecciones debidas a *S. aureus*, variaron de acuerdo a si se aplicaba o no terapia antibiótica al momento de secar las vacas (Allore y Erb, 1998; Osteras *et al.*, 1999; Halasa, 2010).

En la Tabla 5.2 se muestran las probabilidades de transición en la dinámica de la infección por *S. aureus* durante el secado, según se implemente o no terapia antibiótica al terminar la lactancia.

Tabla 5.2: Probabilidades de transición utilizadas para los estados de salud en vacas secas.

Probabilidades de Transición en Periodo Seco	Sin Terapia al Secado¹	Con Terapia al Secado²
Probabilidad de infección durante período de seca	0,02	0,007
Tasa de Curación Clínica	0,30	0,77
Tasa de Curación Subclínica	0,30	0,77
Tasa de Recrudescimiento (de MSC a MC)	0,09	0,09
Tasa de Remisión (de MC a MSC)	0,69	0,22
Proporción de infectadas con MC	0,10	0,10
Proporción de infectadas con MSC	0,90	0,90

¹ Allore y Erb, 1998; Osteras *et al.*, 1999.

² Halasa, 2010.

Efectos debidos a la mastitis:

Se simularon los efectos de la mastitis sobre la probabilidad de preñez y de pérdidas embrionarias, la producción de leche y el descarte de vacas, obteniendo de esta manera un diferencial atribuible a la enfermedad entre vacas sin la afección y aquellas con mastitis.

1) Efecto de la mastitis sobre la Reproducción:

Cada vez que una vaca presentaba un episodio de MC o MSC, las probabilidades de quedar preñada o de mantener la preñez ya establecida (alrededor de la quincena previa y de las 3 quincenas posteriores al momento del servicio-Inseminación Artificial) se redujeron entre 10-50%, según trabajos previos (Juozaitiene *et al.*, 2005; Pinedo *et al.*,

2009; Hertl *et al.*, 2010). Por defecto, se estableció una probabilidad de disminución de la eficiencia reproductiva del 50% y 15% para MC y MSC, respectivamente.

2) Efecto de la mastitis sobre la Producción de leche:

I) Debido a Mastitis Clínica:

a) Descarte de leche por alteración y/o presencia de antibióticos: La cantidad de días en que la leche era descartada varía según el escenario evaluado, siendo entre 0 (cuando no se hace despunte ni tratamiento de la MC) a 3 o más. Para estimar dichas pérdidas, se consideró el nivel de producción que poseía la vaca afectada con MC y se lo multiplicó por los días de retiro, si correspondía.

b) Pérdidas de litros a lo largo de la curva de lactancia: Cada vez que la vaca presentaba un cuadro clínico, la producción de leche se vio afectada durante las quincenas posteriores a dicho evento y hasta finalizar la lactancia. Los litros perdidos por MC debida a *S. aureus* se estimaron a través de parámetros obtenidos de trabajos previos (Gröhn *et al.*, 2004 y Bar *et al.*, 2007), contemplando para cada individuo, el número de caso de MC en esa lactancia (1° , $2^\circ \geq 3^\circ$) y de si se trataba de una vaca o de una vaquillona.

II) Debido a Mastitis Subclínica:

- Dependiendo del nivel de RCS de cada VO, se dedujeron las pérdidas de leche ocasionadas por el mismo, contemplando, además, su NOP y los DEL en que se encontraba, según Dürr *et al.* (2008).
- Si una vaca presentaba MSC posterior al cuadro clínico, el modelo priorizó las pérdidas debidas al nivel de RCS correspondiente, sin valorar el efecto “de arrastre” posterior a la MC a fines de no sobrestimar dichas pérdidas.

3) Efecto de la mastitis sobre el Descarte:

Múltiples criterios fueron tenidos en cuenta al momento de realizar el descarte voluntario de vacas, que varían ampliamente entre productores y situaciones de rodeos (Hogeveen *et al.*, 2011). Por defecto, en este estudio se planteó el descarte por mastitis de aquellas vacas que presentaban 3 casos de MC (como Allore *et al.*, 1998) o la presencia de niveles de RCS mayores a 800.000 células/mL en 6 oportunidades a lo largo de la misma lactancia (siguiendo pautas de Allore *et al.*, 1998; Groenendal *et al.*, 2004).

En la Figura 5.4 se muestra un ejemplo de evolución de estados para una vaca simulada en el modelo.

Iter	Quincena	Año	id	NOP	Quinc_Prz	DEL	prodDiaria	salud	rsc	perdMC	perdMSC
4	38	2	25	2	5	150	29.00	3	287	0.00	47.88
4	39	2	25	2	6	165	28.60	3	325	0.00	51.22
4	40	2	25	2	7	180	28.17	3	333	0.00	59.43
4	41	2	25	2	8	195	27.71	3	330	0.00	68.33
4	42	2	25	2	9	210	27.22	3	312	0.00	70.82
4	43	2	25	2	10	225	26.72	3	289	0.00	78.04
4	44	2	25	2	11	240	26.21	3	296	0.00	77.50
4	45	2	25	2	12	255	25.69	2	1900	63.00	0.00
4	46	2	25	2	13	270	25.16	3	871	0.00	121.14
4	47	2	25	2	14	285	24.63	3	696	0.00	123.95
4	48	2	25	2	15	300	24.10	3	556	0.00	115.49

Figura 5.4: Ejemplo del Seguimiento de una vaca (id: n° 25) durante el segundo año de corrida del modelo (quincenas 38 a 48), para una sola iteración (Iter: n°4). ID: número de registro de la vaca; NOP: número ordinal de parto; Quinc_Prz: quincena de preñez; DEL: días en leche; prodDiaria: producción de leche diaria (en litros); salud, donde 1: sana, 2: MC, 3: MSC; rcs: recuento de células somáticas ($\times 10^3$); perdMC: pérdidas de litros de leche/quincena debida a MC; perdMSC: pérdidas de litros de leche/quincena debida a MSC.

Escenarios de Intervención para la prevención y control de la mastitis:

En primera instancia, se evaluó el escenario de un rodeo “testigo” (**escenario A**), sin intervenciones. El mismo, estuvo compuesto de 200 vacas Holando Argentino, y se consideró una probabilidad de transmisión quincenal (β) de 0,50, según datos de trabajos previos para rodeos que no aplican un plan de mastitis convencional (Lam *et al.*, 1996).

Posteriormente, se simularon escenarios considerando algunas estrategias de prevención y control para la mastitis, recomendadas por el National Mastitis Council (2016). Las eficacias de estas técnicas se obtuvieron de la literatura, asumiendo el contexto de un rodeo donde prevalece un patógeno contagioso (*S. aureus*). La magnitud de la eficacia fue estimada mediante el promedio ponderado de las eficacias estimadas para MC y MSC.

Las estrategias consideradas en la evaluación y sus respectivas eficacias fueron las siguientes:

- 1) Desinfección de pezones posordeño a todas las vacas en lactancia (DPO), utilizando una eficacia promedio de 36,3% en la reducción de nuevas infecciones debidas a *S. aureus* (Drechsler *et al.*, 1993; Huijps, 2009).

- 2) Terapia antibiótica al secado a todas las vacas (TVS), asumiendo que la eficacia en la reducción de nuevas infecciones era de 19,8% (Huijps, 2009).
- 3) Chequeo regular de la máquina de ordeño (CMO). Se asumió que la eficacia en la reducción de nuevas infecciones era de 8,7% (McInerney *et al.*, 1992).
- 4) Tratamiento de casos de MC durante la lactancia (TMC), asumiendo una eficacia en la reducción de nuevas infecciones del 9,3% (Huijps, 2009). Por defecto, para esta estrategia se consideró el uso de 3 pomos por caso clínico y un tiempo de retiro de la leche (descarte) de 6 días. Por su parte, la probabilidad de curación de MC (Y_c) tras la aplicación de este tratamiento se seteó en 0,35 (Halasa *et al.*, 2009), en comparación con la probabilidad de 0,03 utilizada por defecto en casos de no aplicar dicho tratamiento.
- 5) Segregación de vacas: Esta técnica considera el ordeño de un determinado número de vacas infectadas hacia el final. Para evaluar el impacto de esta medida, y como el modelo determina que cualquier animal infectado tiene la misma capacidad de transmitir la enfermedad a un animal susceptible (independientemente de la cronicidad del cuadro o de su estado clínico o subclínico), se determinó una segregación efectiva del 20% de los animales infectados en cada quincena, entendiéndose por ésta que los casos eran detectados precozmente y apartados, quedando imposibilitados de poder transmitir la infección.
- 6) Descarte de vacas por mastitis. Por defecto, el modelo consideró como regla que la vaca se elimina cuando experimenta 3 casos de MC o al menos 6 episodios de RCS mayores 800.000 células/mL dentro de la misma lactancia, teniendo en cuenta que los periodos de evaluación de los RCS son quincenales. En este escenario, se utilizó dicho criterio de descarte frente a una amplia gama de opciones.

En este modelo, tanto la segregación como el descarte, se simularon de forma tal de lograr reducir la proporción de vacas infectadas con poder de transmisión al grupo susceptible, permitiendo, de esta manera, evaluar indirectamente la eficacia de dichas medidas.

Combinación de estrategias:

A partir de las mencionadas estrategias se diseñaron tres escenarios de intervención para comparar con el rodeo testigo (**escenario A**): uno donde se utilizaron las primeras cuatro medidas básicas (DPO, TVS, CMO, TMC) (**escenario B**), asumiendo un efecto aditivo de las eficacias de las estrategias involucradas, y otros en donde las mismas se



combinaron con la segregación de vacas infectadas (**escenario C**) o, de forma alternativa, con el descarte de vacas crónicamente infectadas (**escenario D**).

Efectos Económicos:

El modelo entiende como beneficio al valor de pérdidas evitadas atribuibles a las intervenciones, siendo las mismas contrastadas con los gastos asociados a dichas intervenciones analizadas. De esta manera, en la evaluación económica, se consideraron tanto las pérdidas debidas a la enfermedad como los gastos de intervención para cada escenario planteado. Los costos utilizados fueron obtenidos a partir de la literatura, datos de mercado regional y/o expertos, todos cotizados en dólares a fecha de agosto de 2016 (Tabla 5.3).

En las pérdidas por enfermedad se consideraron los litros de leche perdidos en relación a la MC y MSC multiplicados por el precio del litro. Para las pérdidas reproductivas, se tuvo en cuenta el costo de los días abiertos involuntarios debido a MC y MSC, que incluyó, el precio de las dosis adicionales de inseminación artificial, la mano de obra adicional, el costo de descarte por infertilidad y la pérdida de leche y de la fracción de ternero atribuible al retraso en la concepción (Cattaneo *et al.*, 2015). En el escenario sin intervención (A), los costos estuvieron representados únicamente por las pérdidas debidas a la enfermedad (litros de leche y días abiertos involuntarios).

Para los demás escenarios (B, C y D), se tuvieron también en cuenta los gastos por intervención, considerando los insumos y servicios requeridos al aplicar cada una de las estrategias, como son el desinfectante posordeño, pomos antibióticos para secado y para el tratamiento de casos de MC durante la lactancia, el servicio del chequeo de máquina de ordeño y el diagnóstico y selección de vacas a segregar junto a la provisión de un corral necesario para mantener a dichas vacas. En el caso del descarte voluntario de vacas con cuadros crónicos de mastitis, los costos de reemplazo fueron calculados según la fórmula de Pinzón-Sánchez *et al.* (2011), contemplando el precio de la vaquilla de reemplazo y el de la vaca descartada según sus DEL y NOP (Tabla 5.3). Para cada estrategia, a su vez, se contabilizó el gasto adicional atribuible a la mano de obra requerida (Tabla 5.3).

Tabla 5.3: Valores por defecto utilizados para el análisis económico en los diferentes escenarios planteados*.

Parámetros Económicos	Valor
Precio del litro de leche (US\$) ¹	0,28
Costo reproductivo por días abiertos involuntarios (US\$/d) ²	6,11
Costo promedio anual del chequeo de máquina de ordeño (US\$) ³	281,25
Costo del desinfectante posordeño (US\$/litro) ³	2,5
Tiempo para colocar desinfectante posordeño (segundos/vaca) ⁴	15
Tiempo para colocar pomos al secado (segundos/vaca) ⁴	300
Precio del pomo Secado (US\$/unidad) ³	1,5
Tiempo para tratar casos clínicos (segundos/caso) ⁴	75
Costo de mano de obra (US\$/hora) ³	3,9
Precio del pomo MC (US\$/unidad) ³	2
Precio de vaquillona de reemplazo (US\$) ³	1.300
Precio de vaca de descarte (US\$) ³	400
Costo fijo de segregación (US\$/VO/año) ³	3,07
Costo variable de segregación (US\$/Vaca segregada/año) ³	109,5

* Los precios fueron convertidos a precio en dólares según su cotización al 17/08/2016):
<http://www.bna.com.ar/>

¹ Extraído de la página del Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA).
<http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10015035-precio-de-la-leche-al-productor-en-dolares-por-litro>

² Cattaneo *et al.*, 2015.

³ Precios de Mercado Actual en Argentina y/o Datos obtenidos de expertos (al 17/08/2016).

⁴ Yalcin *et al.*, 1999.

Posterior a la evaluación económica, se contrastaron los costos-beneficios de las diferentes situaciones planteadas.

Corrida del modelo y Análisis de Sensibilidad:

La corrida del modelo se efectuó hasta alcanzar el tercer año simulado con el objeto de lograr un estado de equilibrio en la prevalencia de la mastitis (estado endémico). En cada simulación, se realizaron 500 iteraciones para captar la variabilidad de los efectos y obtener estimaciones estables.

El análisis de sensibilidad se llevó a cabo sobre parámetros de ingreso relacionados a la dinámica de la infección y valores productivos y económicos, modificando un único parámetro por vez (los demás quedaban constantes). Se analizaron las consecuencias de la variación de la probabilidad de transmisión (β) en 0,25 puntos por arriba y por debajo del promedio ($\beta=0,50$) para los escenarios mencionados anteriormente. Además, se modificó el precio de la leche y se evaluaron diferentes valores de eficacia de las estrategias utilizadas para intentar determinar el punto de quiebre en el que los gastos de intervención igualan a las pérdidas por no intervenir.

A su vez, se comparó el rodeo base de 200 vacas con dos tamaños de rodeo adicionales (80 y 400 vacas). Para todos ellos, se evaluaron los cuatro escenarios: A (sin intervención); B (4 medidas: DPO, TVS, CMO y TMC), C (4 medidas más segregación de vacas infectadas) y D (4 medidas más descarte de vacas crónicas).

RESULTADOS

Datos descriptivos:

Una vez estabilizado el modelo (al tercer año simulado), considerando los datos iniciales del rodeo utilizado para llevar a cabo la corrida del mismo, se obtuvo un porcentaje promedio de vacas preñadas de 55,85% (q1: 53,49%; q3: 57,76%) y de vacas en lactancia de 82,51% (q1: 80,13%; q3: 84,73%). La producción de leche media en vacas primíparas y multíparas fue de 25,27 (DE: 1,77) y 27,72 (DE: 2,10) litros diarios, respectivamente.

Dinámica de la infección:

La prevalencia de las infecciones intramamarias varió ampliamente de acuerdo al escenario evaluado. Posterior a la estabilización del modelo (al tercer año simulado), la mediana quincenal de la prevalencia para MC y MSC debidas a *S. aureus* en el rodeo testigo (A; sin intervención) fue de 0,09 y 0,64, respectivamente. Para los demás

escenarios (B, C y D), la misma fue igual a 0 para ambas manifestaciones de la enfermedad (MC y MSC), excepto en el escenario B donde la mediana de prevalencia para MSC fue de 0,006 (Tabla 5.4).

Tabla 5.4: Mediana (percentil 5° y 95°) de las prevalencias quincenales de mastitis clínica (MC) y subclínica (MSC) obtenidas durante un año a partir de 500 iteraciones para los diferentes escenarios evaluados.

Escenarios	MC	MSC
A	0,088 (0,052; 0,130)	0,637 (0,572; 0,694)
B	0 (0; 0,011)	0,006 (0; 0,043)
C	0 (0; 0,006)	0 (0; 0,031)
D	0 (0; 0,006)	0 (0; 0,013)

Escenario A: Rodeo Testigo (Sin intervención); Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infectadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infectadas.

Para todos los escenarios evaluados, el número de casos de MSC fue aproximadamente 7 veces superior al de MC.

Pérdidas debidas a la enfermedad:

Las pérdidas debidas a enfermedad fueron evaluadas una vez lograda la estabilización del modelo (al tercer año simulado). En el escenario sin intervención (A), las pérdidas de producción (promedio de las 500 iteraciones) debidas a mastitis fueron de 136.330 L de leche anuales, equivalentes a 832 L/VO/año (2,28 L/VO/día). Los escenarios con intervención (B, C y D) presentaron pérdidas significativamente inferiores, entre 832 a 3.736 L/año (de 5,1 a 22,8 L/VO/año), en donde las pérdidas por MSC representaron entre un 57 y 64% del total de las mismas (Figura 5.5). El escenario con menores pérdidas de litros fue el D, que combina las 4 estrategias básicas junto al descarte.

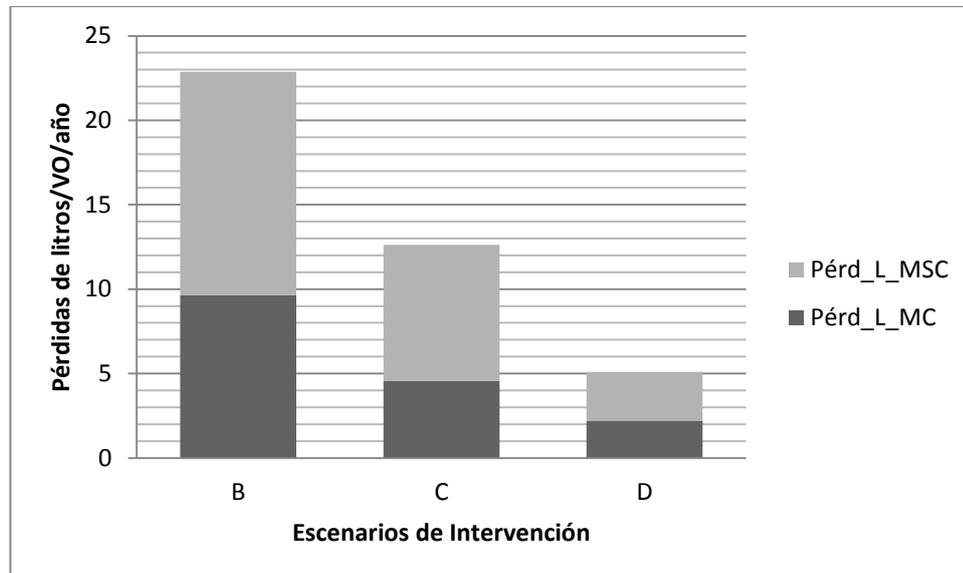


Figura 5.5: Pérdidas de litros anuales asociadas a mastitis clínica (MC) y subclínica (MSC) por vaca en ordeño (VO) para los tres escenarios que implementan medidas de intervención. Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infeccadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infeccadas.

En el escenario testigo (A), las pérdidas promedio anuales de ciclos reproductivos debidas a mastitis fueron alrededor de 35, siendo el 72% de las mismas atribuibles a la MSC. Por el contrario, en los escenarios con intervención las pérdidas reproductivas asociadas a la mastitis fueron prácticamente nulas, siendo menores a un caso/año en todos ellos.

Resultados Económicos:

Los costos económicos también fueron evaluados una vez lograda la estabilización del modelo (al tercer año simulado). Los costos por pérdidas de litros de leche fueron entre 8 (escenario A) a 48 (escenario D) veces superiores en relación a las pérdidas reproductivas, dependiendo del escenario evaluado.

En el rodeo sin intervención, el costo promedio anual por litros perdidos fue de US\$ 233/VO/año, mientras que en los rodeos intervenidos osciló entre US\$ 1,43 a 6,40/VO/año.

En cuanto al impacto reproductivo, teniendo en cuenta los días abiertos involuntarios a causa de mastitis, el escenario A presentó una pérdida monetaria de US\$ 27/VO/año, siendo menor a US\$ 0,40/VO/año para el resto de los escenarios.

El costo total del escenario A fue, en promedio, 7 veces superior en relación a los escenarios con intervención. En estos últimos, los niveles de infección y las pérdidas asociadas a la mastitis se redujeron a expensas de diferentes niveles de gastos por concepto de medidas de prevención y/o control. El escenario B (4 medidas básicas) fue el que tuvo menor costo total anual (US\$ 35,15/VO), valor que representa un 13,5% del costo del escenario sin intervención (escenario A: US\$ 260,23/VO) (Figura 5.6).

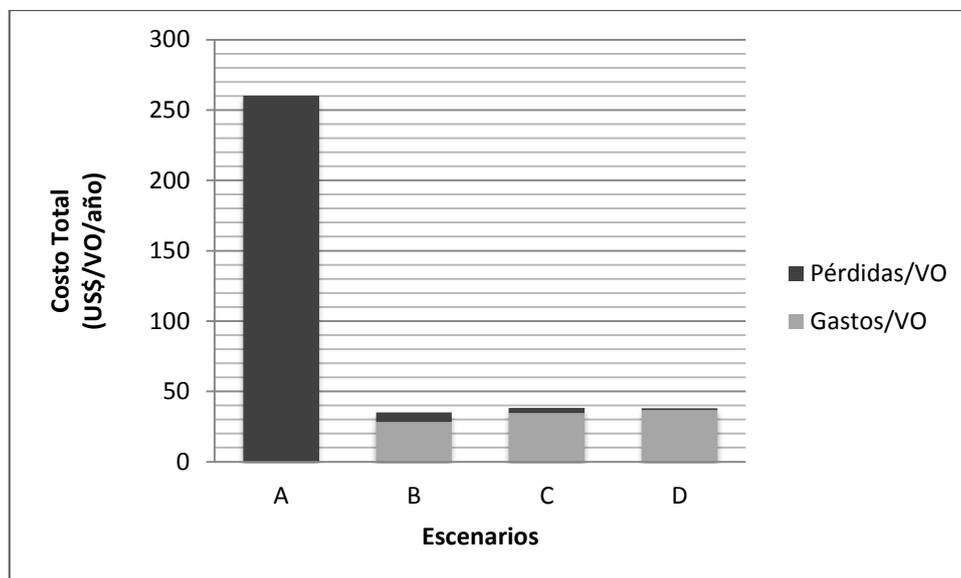


Figura 5.6: Pérdidas monetarias por mastitis y gastos de intervención anuales por vaca en ordeño (VO) para los cuatro escenarios evaluados. Escenario A: Rodeo Testigo (Sin intervención); Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infectadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infeccionadas.

Tanto en el escenario C como el D, las pérdidas debidas a mastitis fueron menores a las obtenidas con el escenario B, pero el costo total de los precedentes (C y D) fue superior debido a los recursos demandados por las estrategias de segregación o descarte de vacas (Figura 5.6).

Además de evaluar las salidas del modelo al tercer año (estabilización del modelo), también se analizó la evolución en el tiempo del impacto de una estrategia tras su

aplicación a lo largo de los primeros tres años. Si bien el costo anual/VO para el escenario sin intervención (A) fue similar en todos los periodos, en los escenarios que tuvieron intervenciones (B, C y D) se observaron cambios en el costo total a medida que se estabilizaba la dinámica del rodeo (Figura 5.7)

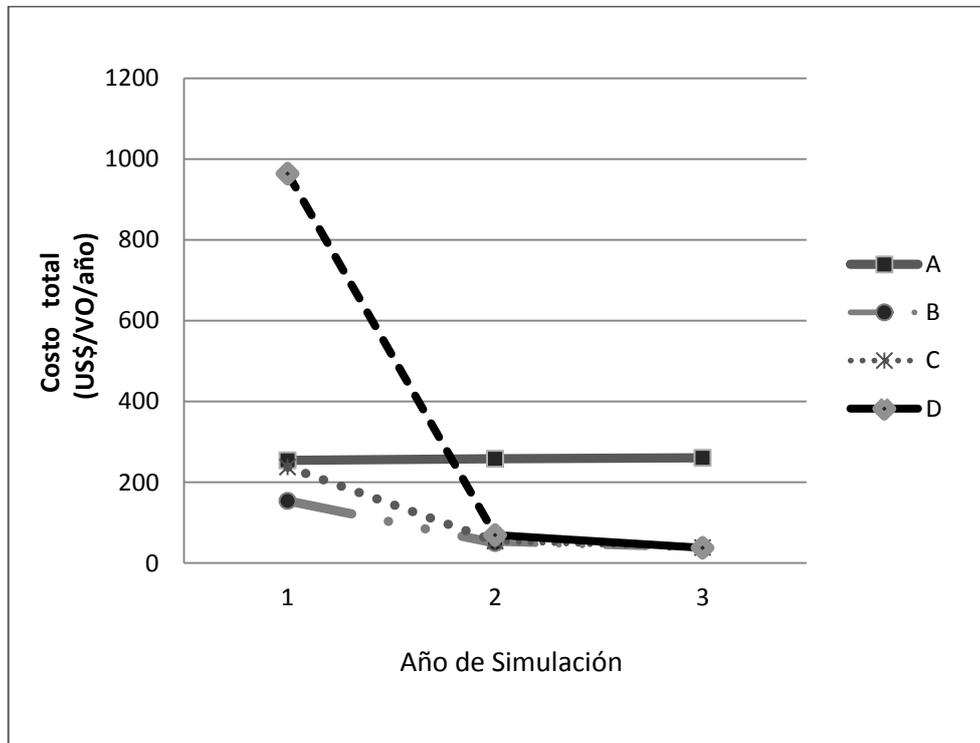


Figura 5.7: Evolución del costo total de la enfermedad/VO para los escenarios evaluados (A, B, C y D) a lo largo de un horizonte de tres años de simulación. Escenario A: Rodeo Testigo (Sin intervención); Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infectadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infectadas.

Como puede apreciarse en la Figura 5.7, tras comparar el costo anual/VO en un rodeo sin intervención (escenario A), los escenarios B (plan con las 4 medidas de prevención y control) y C (las cuatro medidas junto a la segregación de vacas infectadas), fueron más eficientes económicamente aún durante el primer año posterior a sus implementaciones. Por su parte, el escenario D tuvo un elevado costo total durante el primer año (casi cuatro veces el costo anual del rodeo sin intervención) para luego descender bruscamente en el siguiente año y volverse eficiente, alcanzando niveles similares al de los otros escenarios (B y C).



Análisis de Sensibilidad:

El análisis de sensibilidad se llevó a cabo sobre aquellos supuestos críticos relacionados a la dinámica de la mastitis (β : probabilidad de transmisión), el precio de la leche y el beneficio de las intervenciones de control (eficacia). Así mismo, se evaluó el impacto del tamaño del rodeo sobre el costo total de la enfermedad.

Probabilidad de transmisión (β): Al cambiar el valor de β a 0,25 para reducir los niveles de infección de *S. aureus*, la mediana quincenal de la prevalencia para MC y MSC en el rodeo testigo (A; sin intervención) fue de 0,058 (p05: 0,030; p95: 0,090) y 0,426 (p05: 0,347; p95: 0,50), respectivamente. Para los demás escenarios (B, C y D), la misma fue igual a 0 para ambas manifestaciones de la enfermedad (MC y MSC). En estos escenarios con intervención, el costo total anual disminuyó, en promedio, un 13% en relación al obtenido por defecto con la simulación con $\beta=0,50$ (Figura 5.8). Por otro lado, al incrementar β a un valor de 0,75, la mediana quincenal de la prevalencia para MC y MSC en el rodeo testigo fue de 0,101 (p05: 0,063; p95: 0,144) y 0,725 (p05: 0,663; p95: 0,787), respectivamente. Para los demás escenarios, dichos valores fueron los siguientes: escenario B: 0,006 (p05: 0,0; p95: 0,029) y 0,063 (p05: 0,006; p95: 0,144); escenario C: 0 (p05: 0,0; p95: 0,006) y 0 (p05: 0,0; p95: 0,012) y escenario D: 0,035 (p05: 0,012; p95: 0,065) y 0,249 (p05: 0,186; p95: 0,349). En escenarios con intervención, el costo total anual aumentó alrededor de 2 (escenarios B y C) y 3,5 veces (escenario D) en relación al obtenido anteriormente con la simulación con $\beta=0,50$ (Figura 5.8).

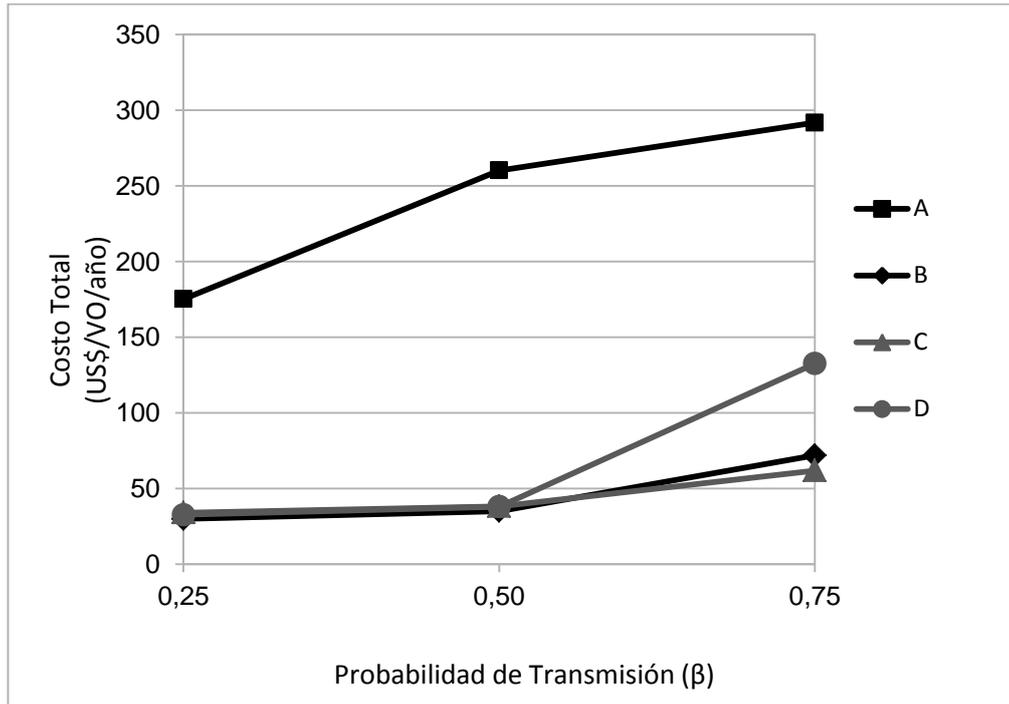


Figura 5.8: Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 4 escenarios evaluados (A, B, C y D) bajo diferentes probabilidades de transmisión (β): 0,25, 0,50 (valor por defecto) y 0,75. Escenario A: Rodeo Testigo (Sin intervención); Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infectadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infectadas.

Precio de la leche: Al aumentar el precio de la leche (de US\$ 0,28 a US\$ 0,36), y mantener los demás precios constantes, el costo del escenario A (sin intervención) aumentó un 26% y pasó de ser de 6,8 veces a 8,5 veces superior al costo de los escenarios con intervención.

El precio del litro de leche debió reducirse de US\$ 0,28 (precio por defecto) a US\$ 0,002, US\$ 0,009 y US\$ 0,0118 en los escenarios B, C y D, respectivamente, para que los costos anuales/VO se equipararan al del rodeo testigo (punto de quiebre).

El costo total ante cambios en el precio de la leche (en US\$ 0,19 y US\$ 0,36) en los escenarios que implementan medidas de intervención, se observa en la Figura 5.9. El escenario B fue el más sensible ante dichos cambios. Su costo total varió de US\$ 33,1/VO/año cuando el precio de la leche era de US\$ 0,19/L a US\$ 37/VO/año cuando el mismo fue de US\$ 0,36/L. El escenario D fue el menos sensible a dichos cambios.

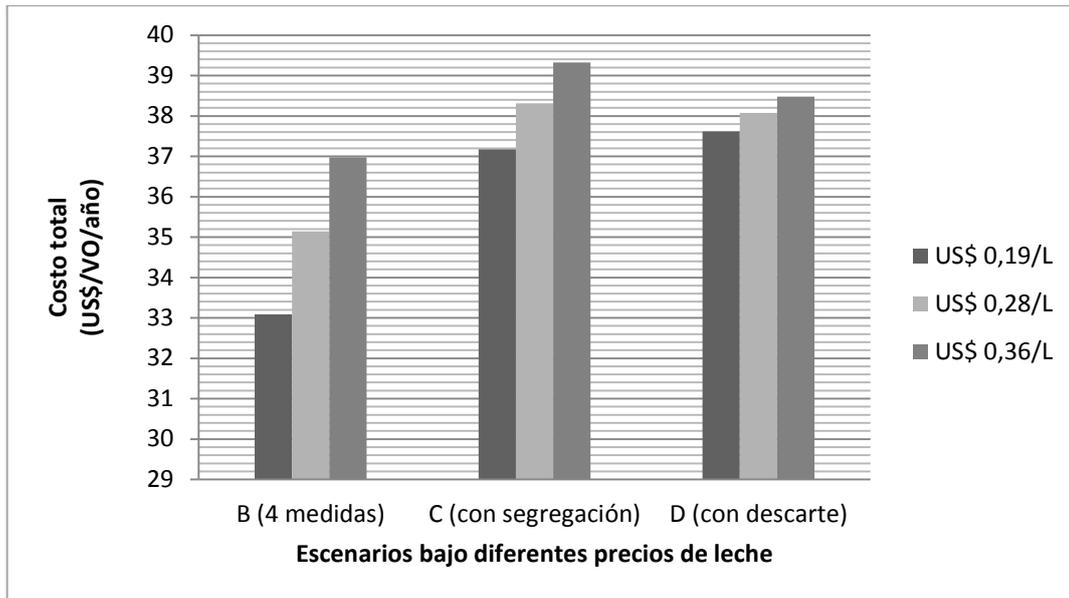


Figura 5.9: Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 3 escenarios con intervención bajo diferentes precios de la leche: US\$ 0,16/L, US\$ 0,325/L (precio por defecto) y US\$ 0,65/L. Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infectadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infectadas.

Niveles de Eficacia de las Medidas de Intervención: Al evaluar cambios en el nivel de eficacia de las medidas aplicadas sobre la reducción de nuevas infecciones, la misma debió reducirse de 79% a 27%, 40% o 52% para que los costos anuales/VO de los escenarios B, C y D, respectivamente, se equipararan a los del rodeo testigo (escenario A) (Figura 5.10).

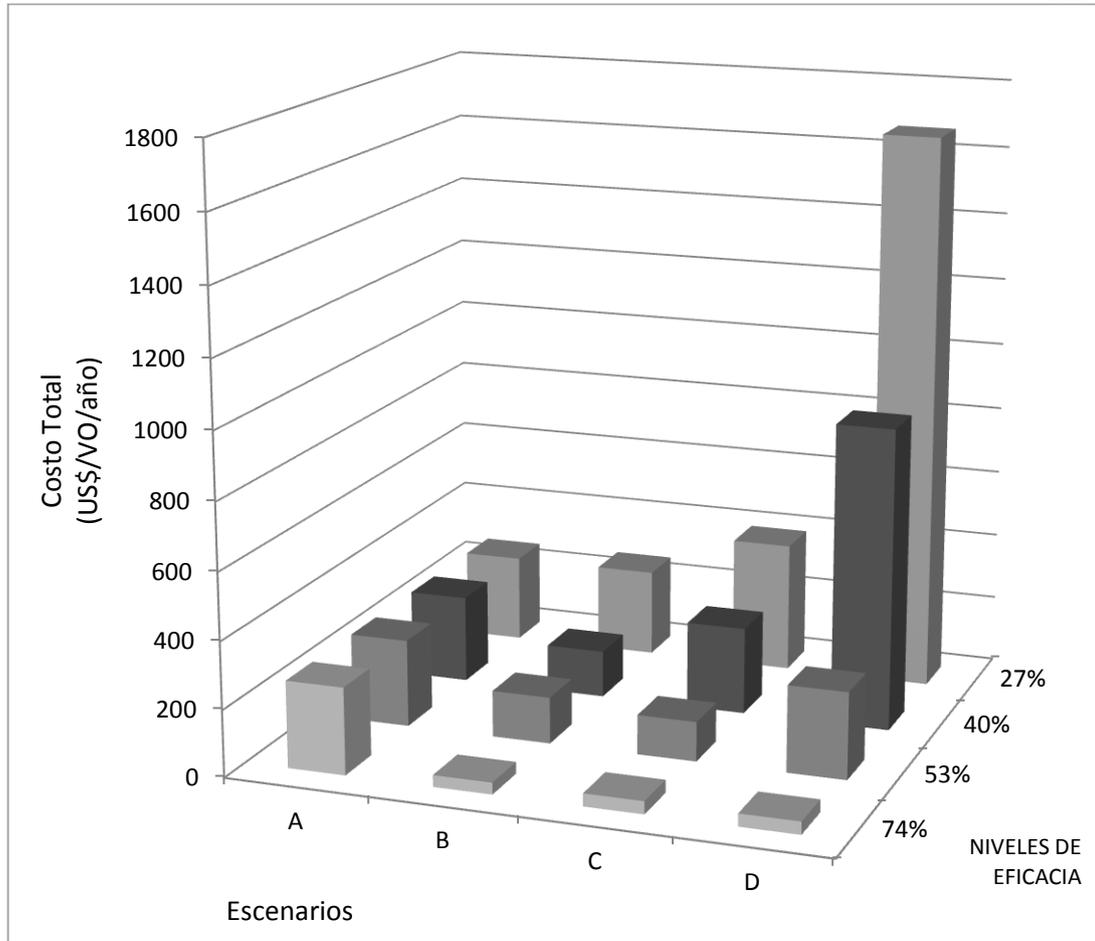


Figura 5.10: Costo total anual por vaca en ordeño (VO) para los 4 escenarios evaluados bajo diferentes niveles de eficacia de las intervenciones: 27%; 40%; 52% y 74% (nivel por defecto). Escenario A: Rodeo Testigo (Sin intervención); Escenario B: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas (Sellado de Pezones Posordeño; Terapia antibiótica al Secado; Chequeo de Máquina de Ordeño; Tratamiento de Casos Clínicos); Escenario C: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones básicas más la Segregación de Vacas Infeccadas; Escenario D: Rodeo que aplica las 4 primeras intervenciones más el Descarte de Vacas Crónicamente Infeccadas.

Tamaños de Rodeo: Para poder evaluar aspectos económicos relacionados al tamaño de los predios, se realizó la simulación en un tambo de 80 y en un tambo de 400 vacas. Al evaluar los escenarios A, B, C y D, y una vez estabilizado el modelo, el costo anual/VO entre los diferentes tamaños de rodeo evaluados fue similar al del tamaño base de 200 vacas.

DISCUSIÓN

Valorar la compleja trama entre la mastitis y su relación con otros eventos de salud y producción, plantea un importante desafío. Con el propósito de simular el efecto de la mastitis y evaluar cursos de acción en el control, se han desarrollado modelos adaptados a la lechería estadounidense y europea (Allore y Erb, 1998; Seegers *et al.*, 2003; Ostergaard *et al.*, 2005; Hagnestam-Nielsen y Ostergaard, 2009; Halasa *et al.*, 2009; Geary *et al.*, 2012; Halasa, 2010; Gussmann *et al.*, 2018), careciendo de antecedentes de desarrollo equivalentes para sistemas de producción nacional. Esta herramienta de simulación pretende superar dichas restricciones para dar respuestas a aspectos improbables de evaluar mediante estudios observacionales y/o experimentales.

Este modelo contempló tanto la dinámica de transmisión de la mastitis como las intervenciones de diferentes medidas de manejo, permitiendo la evaluación productiva y económica de la enfermedad. En esta fase inicial de desarrollo, se evaluó únicamente la transmisión de *S. aureus*, dado a que es el patógeno contagioso más prevalente en nuestra región (Dieser *et al.*, 2013). Debido a la falta de información bibliográfica a nivel nacional sobre las probabilidades de transición entre los estadios involucrados en la enfermedad, se utilizaron valores obtenidos en otras partes del mundo (Lam *et al.*, 1996; Osteras *et al.*, 1999; Sol *et al.*, 2000; Zadoks *et al.*, 2002; Swinkels *et al.*, 2005), pudiendo ser las mismas ajustadas con datos más acordes a nuestro contexto cuando los mismos estén disponibles.

Considerando los efectos biológicos debidos a mastitis a lo largo del tercer año simulado en un rodeo de 200 vacas Holando Argentino, se observó que las pérdidas por MSC fueron superiores a las producidas por MC, aunque en diferentes porcentajes según el escenario evaluado. Estos hallazgos coinciden con estudios previos (Huijps, 2009) y, si bien el modelo contempló el efecto de los casos de MC a lo largo de toda la curva de lactancia, sus pérdidas no fueron imputadas en aquellas quincenas donde las vacas tenían altos niveles de RCS a fines de no sobreestimar el efecto de la enfermedad sobre la producción.

En un estudio sobre más de 150 tambos de la región, se han estimado pérdidas debidas a MSC de alrededor de 3 L/VO/día. El citado estudio no discriminó los costos de acuerdo al grado de adopción del plan de los cinco puntos. Así mismo, las pérdidas estimadas en el modelo bajo un escenario sin intervención promediaron los 2,28 L/VO, considerando ambos efectos de la enfermedad (clínico y subclínico). Dichas cifras se



corresponden a las de aquellos establecimientos que se encuentran posicionados en el percentil 75 según las pérdidas de litros en el trabajo mencionado (Vissio *et al.*, 2017).

En cuanto al efecto sobre la reproducción, las pérdidas de ciclos también se debieron principalmente a la MSC, ya que, a pesar de que el impacto de la MC sobre la reproducción en el individuo es más severo, los casos subclínicos fueron mucho más frecuentes a lo largo de toda la simulación, aumentando así las probabilidades de que una vaca presentara MSC en las semanas próximas a la fecha de la inseminación.

Los escenarios de intervención aquí evaluados hacen referencia a cuatro puntos básicos de control de la mastitis (DPO, TVS, CMO y TMC) contemplando, además, el ordeño segregado y el descarte de vacas crónicamente infectadas. En base a los supuestos del modelo, los niveles de infección fueron significativamente menores en aquellos rodeos que aplicaban algún tipo de intervención en relación al rodeo testigo (escenario A). Esto se correlacionó con la reducción de pérdidas debidas a la enfermedad al aplicar las 4 medidas básicas juntas (escenario B) y/o con un criterio de segregación (escenario C) o descarte voluntario de mastitis crónicas (escenario D). Sin embargo, el manejo de una enfermedad conlleva no sólo a reducir esas pérdidas, sino a lograr un equilibrio entre ellas y los gastos de intervención, de forma tal de poder minimizar su costo total (McInerney, 1996). Los cálculos económicos en relación a las medidas de prevención y control sirven como una fuente de aproximación a la estimación de los beneficios de dichas medidas, asumiendo condiciones estables y endémicas de la mastitis (Hogeveen *et al.*, 2011). Considerando el análisis de las salidas del modelo al tercer año simulado y dados los supuestos implementados, los tres escenarios que aplicaban medidas de control (B, C y D) fueron económicamente eficientes en comparación al rodeo testigo (A).

En trabajos previos, se ha estimado el costo total debido a mastitis para un rodeo de 65 vacas en € 78/vaca/año, con una variación de € 17 - € 198/vaca/año, teniendo en cuenta una incidencia promedio de MC de 30 casos por cada 100 vacas por año, y considerando pérdidas por MC y MSC, gastos en servicios veterinarios y mano de obra, descarte de vacas con MC y penalizaciones según el nivel de RCST (Huijps, 2009). A pesar de que estos resultados no son estrictamente comparables con los del presente estudio, el costo total anual en los rodeos con intervención obtenidos en la simulación se encuentran dentro de dicho rango de variación (entre US\$ 36,18 y 38,88/VO/año en escenarios con diferentes grados de intervención).

Un aspecto interesante de este trabajo fue la inclusión del impacto del descarte, así como el de la segregación, combinados con las otras cuatro medidas básicas, ya que, aunque algunos estudios previos han evaluado diferentes intervenciones, estas estrategias raramente han sido consideradas como medidas constitutivas en los mismos (Halasa y Hogeveen, 2018).

A pesar de que la valoración económica se llevó a cabo en el tercer año simulado (cuando se logra la estabilización del modelo), cabe aclarar que el escenario D (con descarte), mostró un elevado costo total (altamente superior al escenario sin intervención) inmediatamente después de su implementación (primer año simulado), debido al gran número de animales eliminados del rodeo. Esto sugeriría que no es una medida factible de llevar a cabo cuando los niveles de infección en el rodeo son altos. Esta aseveración es correcta, al menos en el marco de la evaluación a corto plazo, ya que al cabo de los tres años los beneficios son superiores a los costos.

Los criterios a considerar al momento de descartar vacas con mastitis son altamente variables dependiendo de las características propias de cada rodeo, como la disponibilidad de vaquillonas de reemplazo, el precio de la vaca de descarte, la actitud del productor frente al riesgo, las condiciones del mercado, entre otras (Beaudeau *et al.*, 2000). Esto, a su vez, hace que el descarte sea muy difícil de valorar económicamente, entre otras cosas, porque las razones de descarte rara vez se deben a una causa única o totalmente atribuible a la mastitis, en este caso (Fetrow *et al.*, 2006).

El modelo intentó evaluar el impacto del descarte sobre el nivel de infección y sus consecuencias económicas, teniendo en cuenta que se simuló un rodeo fijo de 200 vacas. Cada vez que un animal era descartado, se disponía de una vaquillona que ingresaba inmediatamente en la quincena siguiente, supuesto que otros han considerado para situaciones similares (Allore *et al.*, 1998). Esto puede no ser realista si el número de descartes es elevado debido a otras razones y/o si el número requerido de vaquillonas de reposición propias o del mercado no está disponible. Siendo el descarte uno de los componentes más importantes en los costos de control de la mastitis (Yalcin y Stott, 2000; Huijps, 2009), la justificación de su implementación debe ser evaluada con detenimiento para cada contexto de rodeo.

Respecto a la estrategia de segregación, bajo los supuestos planteados en el modelo, ésta logró reducir las pérdidas por enfermedad y demostró ser eficiente cuando fue acompañada de otras medidas de intervención. Sin embargo, al igual que para el descarte,



los gastos implicados pueden variar ampliamente entre diferentes rodeos, ya que los mismos están influidos por múltiples factores. Entre éstos, se pueden mencionar el criterio utilizado a partir del cual se segregan los animales (que puede estar basado en el umbral de RCS, la cronicidad del caso o el número de repeticiones de MC), el número de vacas afectadas, la posibilidad de detección temprana de la infección y la disponibilidad y costo de la mano de obra para su manejo diferencial.

El modelo contempló, para la estrategia de segregación, tanto gastos fijos como variables, siendo estos últimos dependientes del porcentaje de vacas segregadas. De esta manera, se logró simplificar los supuestos y hacer más flexible su valoración económica, ya que los gastos pueden ser adaptados a la situación particular de cada rodeo al momento de la toma de decisiones.

En relación al Análisis de Sensibilidad, al modificar el precio del litro de leche, se pudo observar que cuando éste aumentó, más eficiente económicamente fue la implementación de medidas de prevención y control para reducir las pérdidas por enfermedad. Dentro de los escenarios que tienen intervención, el escenario B (las cuatro medidas solas) fue el más sensible a los cambios de este parámetro, ya que tuvo niveles de infección más elevados, y por ende, mayores pérdidas por enfermedad (valorizadas en su mayor parte por el precio de la leche).

Al modificar la probabilidad de transmisión (β) se observó que, cuando ésta se aumentó un 50%, también lo hizo, como era de esperar, el costo total. En contraposición, cuando dicha probabilidad se disminuyó un 50%, el costo total también se redujo pero en una proporción menor. Una explicación de este descenso asimétrico de los costos, puede ser que, con bajos niveles de infección, las pérdidas por enfermedad disminuyen, pero no necesariamente aquellos gastos de intervención que requieren de su aplicación en todo el rodeo por igual, independientemente de la cantidad de animales infectados (como son la DPO, la TVS y el CMO). Esto sugiere que, a pesar de obtener niveles de infección muy bajos, los gastos no puedan reducirse por debajo de determinado umbral, aunque el costo total sea minimizado. En este marco, el modelo, podría evaluar, la aplicación, por ejemplo, de una terapia selectiva al secado, entre otras, a fin de poder reducir dichos gastos buscando un equilibrio con las pérdidas por enfermedad.

Dado que no existe suficiente evidencia científica sobre la eficacia global del plan de los cinco puntos, en este modelo se utilizaron los valores de eficacia más probables para las cuatro medidas básicas (DPO, TVS, CMO y TMC) relacionadas a *S. aureus* según datos



bibliográficos (McInerney *et al.*, 1992; Drechsler *et al.*, 1993; Huijps, 2009), considerando un efecto aditivo entre dichas eficacias. Debido a que entre estas medidas de control pueden existir efectos sinérgicos o antagónicos que no han sido contemplados en el modelo debido a la falta de información disponible, se llevó a cabo un Análisis de Sensibilidad sobre su eficacia global. Es preciso destacar que, aún con disminuciones importantes en los niveles de eficacia global, en las estrategias B y C, el resultado económico favorecería la adopción de dichas medidas por parte de productores sometidos a diferentes contextos de rodeo, ya que permitiría tomar decisiones sobre escenarios más conservadores (expectativa de baja eficacia global). El escenario que implementa el descarte (D) fue el más sensible a los cambios de este parámetro, ya que disminuciones pequeñas en su valor derivaron en gastos importantes, respuesta análoga a la observada en los niveles de infección.

Por otra parte, al evaluar los escenarios bajo diferentes tamaños de rodeo, no se encontraron variaciones significativas entre los costos anuales/VO. Esto podría deberse a que la mayoría de los gastos involucrados en las estrategias analizadas están en relación al número de vacas.

Por último, se debe resaltar que la importancia económica de enfermedades como la mastitis no es uniforme entre rodeos, regiones o países, y las medidas de control, cuya implementación se justificaría en un contexto, puede no ser económicamente rentable en otro (McInerney, 1996). Es por ello que este modelo se considera una herramienta flexible de soporte para la toma de decisiones bajo condiciones particulares de manejo que podría ayudar a mejorar la tasa de adopción de estrategias de control (Huijps, 2009).

CONCLUSIÓN:

El modelo simuló la dinámica de la mastitis debida a *S. aureus* por un periodo de tres años para vacas Holando Argentino bajo condiciones iniciales de un rodeo con características propias de nuestra región.

El modelo cuantificó el efecto productivo de dicha enfermedad, donde el impacto se vio reflejado en las pérdidas de litros de leche y fallas reproductivas, siendo, en ambos casos, mayormente atribuido a los casos subclínicos.

El modelo cuantificó el efecto económico de la mastitis para diferentes escenarios de intervención, donde la implementación de los cinco puntos de control de la mastitis fue eficiente, aún con reducciones significativas en los niveles de eficacia de las medidas



implementadas. El modelo desarrollado constituye una herramienta que brindará a productores y veterinarios un soporte para la toma de decisiones bajo diferentes situaciones de rodeo, manejo y niveles de enfermedad, con la posibilidad de plantear diferentes escenarios de intervención, eficacia y costos, permitiendo de esta manera evaluar tanto pérdidas productivas como económicas debidas a MC y MSC.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allore HG, Schruben LW, Erb HN, Oltenacu PA. (1998). Design and validation of a dynamic discrete event stochastic simulation model of mastitis control in dairy herds. *J Dairy Sci* 81: 703–717.
- Allore HG, Erb HN. (1998). Partial budget of the discounted annual benefit of mastitis control strategies. *J Dairy Sci* 81: 2280-2292.
- Allore HG, Erb HN. (1999). Approaches to modeling intramammary infections in dairy cattle. *Prev Vet Med* 39: 279–293.
- Bar D, Gröhn YT, Bennett G, González RN, Hertl JA, Schulte HF, Tauer LW, Welcome FL, Schukken YH. (2007). Effect of repeated episodes of generic clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 90: 4643–4653. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0145>.
- Beaudeau F, Seegers H, Ducrocq H, Fourichon C, Bareille N. (2000). Effect of health disorders on culling in dairy cows: a review and a critical discussion. *Annales de zootechnie* 49: 293–311.
- Calvinho LF, Tirante L. (2005). Prevalencia de microorganismos patógenos de mastitis bovina y evolución del estado de salud de la glándula mamaria en Argentina en los últimos 25 años. *FAVE (Argentina)* 4: 29–40.
- Cattaneo L, Baudracco J, Lazzarini B, Ortega H. (2015). Methodology to estimate the cost of delayed pregnancy for dairy cows. An example for Argentina. *R Bras Zootec* 44: 226–229.
- De Vries A. (2004). Economics of delayed replacement when cow performance is seasonal. *J Dairy Sci* 87: 2947–2958.
- Dieser SA, Vissio C, Lasagno MC, Bogni CI, Larriestra AJ, Odierno LM. (2013). Prevalence of pathogens causing subclinical mastitis in Argentinean dairy herds. *Pak Vet J* 34: 124–126.
- Drechsler PA, O'Neil JK, Murdough PA, Lafayette AR, Wildman EE, Pankey JW. (1993). Efficacy evaluations on five chlorhexidine teat dip formulations. *J Dairy Sci* 76: 2783–2788. DOI: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77616-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77616-X).
- Drechsler P.A. & K O'Neil, J & Murdough, P.A. & Lafayette, A.R. & Wildman, E.E. & Pankey, J.W.. (1993). Dürr W, Cue RI, Monardes HG, Moro-Méndez J, Wade KM. (2008). Milk losses associated with somatic cell counts per breed, parity and stage



- of lactation in Canadian dairy cattle. *Livest Sci* 117: 225–232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2007.12.004>.
- Fetrow J, Nordlund KV, Norman HD. (2006). Invited Review: Culling: Nomenclature, Definitions. *J Dairy Sci* 89: 1896–1905.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029912000581>.
- Geary U, Lopez-Villalobos N, Begley N, McCoy F, O'Brien B, O'Grady L, Shalloo L. (2012). Estimating the effect of mastitis on the profitability of Irish dairy farms. *J Dairy Sci* 95: 3662–3673. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4863>.
- González RN, Giraud JA, Busso JJ, Heredia R. (1977). Investigación en mastitis subclínicas. I. Pérdidas económicas. *Rev Med Vet (Bs. As.)* 58: 431–438.
- Groenendaal H, Galligan DT, Mulder HA. (2004). An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *J Dairy Sci* 87: 2146–2157.
- Gröhn YT, Wilson DJ, González NR, Hertl JÁ, Schulte H, Bennett G, Schukken YH. (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *J Dairy Sci* 87: 3358–3374.
- Gussmann M, Steeneveld W, Kirkeby C, Hogeveen H, Nielen M, Farre M, Halasa T. (2018). Economic and epidemiological impact of different intervention strategies for clinical contagious mastitis. *J Dairy Sci* 102: 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14939>.
- Hagnestam-Nielsen C, Østergaard, S. (2009). Economic impact of clinical mastitis in a dairy herd assessed by stochastic simulation using different methods to model yield losses. *Animal* 3: 315–328. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731108003352>.
- Halasa T, Huijps K, ÓK, ÓK, O, Hogeveen H. (2007). Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Vet Q* 29: 18–31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01652176.2007.9695224>.
- Halasa T, Nielen, M, Huirne RBM, H Hogeveen, H. (2009). Stochastic bio-economic model of bovine intramammary infection. *Livest Sci* 124: 259–305. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2009.02.019>.
- Halasa T, Nielen M, van Werven T, Hogeveen H. (2010). A simulation model to calculate costs and benefits of dry period interventions in dairy cattle. *Livest Sci* 129: 80–87. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.009>.



- Halasa T. (2012). Bioeconomic modeling of intervention against clinical mastitis caused by contagious pathogens. *J Dairy Sci* 95: 5740–5749. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5470>.
- Halasa T, Hogeveen H. (2018). *Culling cows with mastitis: an economic perspective*. In: 57th National Mastitis Council Annual Meeting Proceedings. Tucson, AZ. Natl. Mastitis Council, New Prague, MN. (pp. 79–90).
- Hertl JA, Gröhn YT, Leach JDG, Bar D, Bennett GJ, González RN, Rauch BJ, Welcome FL, Tauer LW, Schukken YH. (2010). Effects of clinical mastitis caused by gram-positive and gram-negative bacteria and other organisms on the probability of conception in New York State Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 93: 1551–1560. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2599>.
- Hogeveen H, Huijps K, Lam TJGM. (2011). Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zeal Vet J* 59: 16–23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>.
- Huijps K. (2009). *Economic decisions in mastitis management*. Tesis Doctoral. Faculty of Veterinary Medicine. Utrecht University, the Netherlands. (pp. 1–156).
- Juozaityene V, Juozaitis A. (2005). The influence of somatic cell count in milk on reproductive traits and production of Black-and-White cows. *Vet Arhiv* 75: 407–414.
- Lam TJGM, Dejong MCM, Schukken YH, Brand A. (1996). Mathematical modeling to estimate efficacy of postmilking teat disinfection in split-udder trials of dairy cows. *J Dairy Sci* 79: 62–70.
- McInerney JP, Howe KS, Schepers JA. (1992). A framework for the economic analysis of disease in farm livestock. *Prev Vet Med* 13: 137–154.
- McInerney JP (1996). Old economics for new problems-Livestock disease: Presidential address. *J Agric Econ* 47: 295–314.
- National Mastitis Council (NMC). Recommended mastitis control program. Recuperado el 25 de octubre de 2017 en <http://www.nmconline.org/wp-content/uploads/2016/08/RECOMMENDEDMASTITIS-CONTROL-PROGRAM-International.pdf>.
- OCLA (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina). (2019). Recuperado el 12 de julio de 2019 en <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10015035-precio-de-la-leche-al-productor-en-dolares-por-litro>.



- Osteras O, Edge VL, Martin SW. (1999). Determinants of success or failure in the elimination of major mastitis pathogens in selective dry cow therapy. *J Dairy Sci* 82: 1221–1231.
- Østergaard S, Chagunda MGG, Friggens NC, Bennedsgaard TW, Klaas IC. (2005). A stochastic model simulating pathogen-specific mastitis control in a dairy herd. *J Dairy Sci* 88: 4243–4257.
- Piccardi MB. (2014). *Indicadores de eficiencia productiva y reproductiva en rodeos lecheros*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (pp. 1–155).
- Pinedo PJ, Melendez P, Villagomez-Cortes JA, Risco CA. (2009). Effect of high somatic cell counts on reproductive performance of Chilean dairy cattle. *J Dairy Sci* 92: 1575–1580. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1783>.
- Pinzón-Sánchez C, Cabrera VE, Ruegg PL. (2011). Decision tree analysis of treatment strategies for mild and moderate cases of clinical mastitis occurring in early lactation. *J Dairy Sci* 94: 1873–1892. DOI: 10.3168/jds.2010-3930.
- Richardet M, Vissio C, Odierno L, Larriestra AJ. (2012). *Implicancias económicas de buenas prácticas dirigidas a promover bajos recuentos en tanque en productores de la cuenca lechera de Villa María*. En: Resúmenes del 35° Congreso Argentino de Producción Animal, Córdoba, Argentina y *Revista Argentina de Producción Animal* (Argentina) 32. (p. 95).
- Richardet M, Castro S, Tirante L, Vissio C, Larriestra AJ. (2016). Magnitud y variación de la mastitis clínica y sus costos asociados en rodeos lecheros de Argentina. *Arch Med Vet* 48: 153–158.
- Rodríguez Barrios JM, Serrano D, Monleón T, Caro J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gac Sanit* 22: 151–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.1157/13119326>.
- Santos JEP, Cerri RLA, Ballou MA, Higginbotham GE, Kirk JH. (2004). Effect of timing of first clinical mastitis occurrence on lactational and reproductive performance of Holstein dairy cows. *Anim Reprod Sci* 80: 31–45. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320\(03\)00133-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00133-7).
- Seegers H, Fourichon Ch, Beaudeau F. (2003). Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet Res* 34: 475–491. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2003027>.



- Sol J, Sampimon OC, Barkema HW, Schukken YH. (2000). Factors associated with cure after therapy of clinical mastitis caused by *Staphylococcus aureus*. *J Dairy Sci* 83: 278–284.
- Sorensen JT. (1990). Validation of livestock herd simulation models: a review *Livest Prod Sci* 26: 79–90.
- Swinkels JM, Hogeveen H, Zadoks RN. (2005). Use of partial budgeting to determine the economic benefits of antibiotic treatment of chronic subclinical mastitis caused by *Streptococcus uberis* or *Streptococcus dysgalactiae*. *J Dairy Sci* 88: 4273–4287. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022029904000603>.
- Thrusfield M. (2007). *Veterinary Epidemiology* (3ra ed.). Oxford, UK: Blackwell Science. (pp. 1–593).
- Tirante L, Gavidia M, Vissio C, Odierno L, Larriestra AJ. (2013). *Effect of clinical mastitis on milk production*. In: 52nd National Mastitis Council Meeting. San Diego, California.
- Valeeva NI, Lam TJGM, Hogeveen H. (2007). Motivation of dairy farmers to improve mastitis management. *J Dairy Sci* 90: 4466–4477. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2007-0095>.
- Vissio C, Dieser SA, Raspanti CG, Giraud JA, Bogni CI, Odierno LM, Larriestra AJ. (2013). Dairy herd mastitis program in Argentina: Farm clusters and effects on bulk milk somatic cell counts. *Pak Vet J* 33: 80–84.
- Vissio C, Agüero DA, Raspanti CG, Odierno LM, Larriestra AJ. (2015). Pérdidas productivas y económicas diarias ocasionadas por la mastitis y erogaciones derivadas de su control en establecimientos lecheros de Córdoba, Argentina. *Arch Med Vet* 47: 7–14.
- Vissio C, Bonetto C, Juárez-Bellavilla L, Julián A, Solá C, Larriestra A. (2017). Sistema de valoración de la dinámica de la mastitis sub-clínica en rodeos lecheros de Argentina: AVACO. En: Libro de Resúmenes del II Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Epidemiología Veterinaria y Medicina Preventiva. Valdivia, Chile. (p. 52).
- Wilson DJ, González RN, Hertl J, Schulte HF, Bennett GJ, Schukken YH, Gröhn YT. (2004). Effect of clinical mastitis on the lactation curve: A mixed model estimation using daily milk weights. *J Dairy Sci* 87: 2073–2084.



- Yalcin C, Stott AW, Logue DN, Gunn J. (1999). The economic impact of mastitis-control procedures used in Scottish dairy herds with high bulk-tank somatic-cell counts. *Prev Vet Med* 41: 135–149.
- Yalcin C, Stott AW. (2000). Dynamic programming to investigate financial impacts of mastitis control decisions in milk production systems. *J Dairy Res* 67: 515–528.
- Zadoks RN, Allore HG, Hagenaars TJ, Barkema HW, Schukken YH. (2002). A mathematical model of *Staphylococcus aureus* control in dairy herds. *Epidemiol Infect* 129: 397–416. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0950268802007483>.



Capítulo VI

Conclusión general y proyecciones futuras



Los estudios abarcados en este trabajo de tesis doctoral han tenido como objetivo contribuir a profundizar el conocimiento sobre la situación de la mastitis en tambos de nuestra región, particularmente el impacto productivo y económico de la mastitis, el beneficio económico de la implementación de buenas prácticas a nivel de rodeo, la eficacia de una de vacuna bajo condiciones de campo, y por último, el desarrollo de una herramienta de simulación para la evaluación económica del plan de los cinco puntos de control de la mastitis, complementado con el descarte de vacas crónicamente infectadas. Las principales conclusiones de estudios realizados se detallan a continuación:

El capítulo II estuvo compuesto por un estudio observacional a nivel de rodeo que evaluó la relación entre buenas prácticas y los niveles de recuentos de células somáticas en tanque, incluyendo su impacto económico en dos grupos de tambos de la zona de Villa María, Córdoba. Aquellos tambos que aplicaban de forma sistemática las buenas prácticas evidenciaron niveles de recuentos de células somáticas en tanque significativamente inferiores respecto de los que no las empleaban. Esto se asoció con una menor pérdida monetaria. Si bien estos costos no reflejan el impacto de los casos clínicos, constituyen un elemento para motivar a los productores de nuestra región a mejorar los programas de sanidad mamaria en sus rodeos. Además, estos hallazgos promueven el diseño e implementación en el futuro de estudios epidemiológicos en tambos de mayor tamaño y en otras cuencas del país.

En el capítulo III se llevó a cabo un estudio observacional para estimar la prevalencia y la incidencia de mastitis clínica y sus consecuencias económicas en rodeos lecheros de Santa Fe y Buenos Aires. Fueron incluidos en este estudio, rodeos que aplicaban regularmente un plan de salud mamaria convencional y con buenos estándares de calidad de leche en tanque. Los valores de incidencia mostraron una alta variación entre los predios, lo que reflejaría la diversidad de situaciones potenciales que influyen la celeridad con la que la mastitis clínica progresa en la población. Considerando la magnitud de la incidencia, y de mantenerse la misma en el tiempo, se podría inferir que para la mitad de los predios, una gran proporción de las vacas experimentarían al menos un episodio de mastitis clínica al cabo de un año. Las estimaciones presentadas en este estudio describen el impacto económico de un caso contemplando el retiro de leche completo y el efecto ulterior sobre la producción a lo largo de la lactancia. La gran variación en la frecuencia e impacto de la mastitis clínica refleja la importancia de esta manifestación de la



enfermedad, y permite inferir la existencia de una proporción considerable de pérdidas evitables.

El capítulo IV involucró un ensayo de campo llevado a cabo en un rodeo lechero de la cuenca de Villa María, Córdoba, que tuvo como objetivo evaluar la eficacia de una vacuna contra la mastitis producida por *Staphylococcus aureus* y los aspectos relacionados a la factibilidad económica de la implementación del programa de inmunización en rodeos comerciales. El esquema de vacunación estuvo asociado a un aumento en el nivel de IgG específica observada en sangre y leche, promoviendo menores niveles de recuento de células somáticas en leche en el grupo vacunado. Estos hallazgos, junto al bajo costo estimado del programa completo de vacunación, justificarían la posterior implementación de futuros ensayos en rodeos de diferentes tamaños y bajo distintas condiciones de prevención y control de la mastitis, a fin de evaluar la eficacia adicional aportada por esta herramienta a los programas de salud mamaria.

Finalmente, el capítulo V se abocó al desarrollo de un modelo de simulación que pronostica el efecto biológico y económico de la mastitis bovina contagiosa en rodeos lecheros. El modelo simuló la dinámica de la mastitis bovina debida a *S. aureus* cuantificando la prevalencia de esta enfermedad bajo diferentes condiciones de manejo. El modelo midió el efecto productivo de la mastitis donde el mayor impacto se vio reflejado en las pérdidas de litros de leche, económicamente superiores a las atribuidas a pérdidas reproductivas. Se estimó, además, el efecto económico de esta enfermedad para diferentes escenarios de intervención, donde la implementación de los cinco puntos de control de la mastitis fue económicamente eficiente. Los ingresos adicionales por producción de leche junto a la reducción de casos de mastitis compensaron los costos de intervención adicionales. Este modelo constituye una herramienta que permitirá, a futuro, incorporar la dinámica de otros patógenos y sus efectos, así como ampliar diversas situaciones de rodeo en cuanto a nivel de infección y grado de intervención, brindando a productores y veterinarios un soporte para la toma de decisiones.

Debido a que la mastitis es una enfermedad que produce pérdidas económicas importantes en rodeos de todo el mundo, siendo muchas de ellas subestimadas por los productores, se espera que, al revelar los costos de la enfermedad, se sensibilice y motive a los productores a mejorar el control de la mastitis en sus rodeos. Disponer de datos regionales, así como de herramientas que ayuden a valorar estimativamente las consecuencias productivas y económicas del control de esta enfermedad, puede contribuir



a que los productores obtengan un mayor beneficio por la leche producida y un mejoramiento de la calidad de la misma, lo que redundaría en un beneficio adicional para la industria láctea.

Sin embargo, la subestimación de las pérdidas económicas por parte del productor es sólo una de las causas de la falta de adopción de esquemas de control integrado para esta enfermedad, por lo que son necesarios estudios futuros sobre la motivación de dueños, encargados, veterinarios, asesores y personal relacionado a la toma de decisiones en el manejo de la salud mamaria.