

# Efecto económico de la mastitis y el alto Recuento de Células Somáticas

Alejandro Ceballos M.

Médico Veterinario Zootecnista, Universidad de Caldas

Máster en Ciencias, Universidad Austral de Chile

PhD University of Prince Edward Island

Grupos de Investigación en Biología de la Producción Pecuaria y

Calidad de Leche y Epidemiología Veterinaria

Universidad de Caldas

alejandro.ceballos@ucaldas.edu.co

Colombia

## Abstract

**B**ovine mastitis is the most costly disease for the milk industry in the world. Direct lesions on the mammary tissue produce milk loss and cows cannot recover their potential milk yield showed before mastitis cases regardless the treatments received. The impact on the profitability of the business is caused by waste milk and by the illness due the lowered milk yield, high somatic cell counts, and early culling of the cow, among other factors. This review summarizes the main aspects of the costly effect of clinical and subclinical mastitis in dairy cows. Only preventative measures will help to reduce the economic impact on profitability of the dairies.

### Keywords:

- Bovine, mastitis, somatic cells, economy, cost.

## Resumen

**L**a mastitis bovina se ha identificado como la más costosa de las enfermedades en producción lechera a nivel mundial. Sus efectos son mediados a través de las lesiones directas sobre los tejidos de la glándula mamaria, donde las vacas tratadas no están en capacidad de recuperar su producción potencial antes del caso de mastitis. Unido a ello, hay una pérdida de leche por efecto de los tratamientos, donde la leche de retiro se suma a las pérdidas ocasionadas por la enfermedad. En esta revisión se resumen los aspectos relevantes relacionados con las pérdidas en producción de leche asociadas con mastitis clínica y subclínica y, además, se presentan algunos ejemplos para cuantificar dichas pérdidas. Solamente mediante la prevención de esta enfermedad, en cualquiera de sus formas, podrá disminuirse el impacto que tiene en la rentabilidad de las lecherías.

### → Palabras clave:

- Bovinos, mastitis, células somáticas, economía, costo.

Foto: Elizabeth Benjumea A.

## Introducción

La mastitis bovina está definida como la inflamación de la glándula mamaria, acompañada de cambios en la apariencia física de la leche. Si bien tiene diversas causas, la mastitis de origen infeccioso es la de mayor ocurrencia, con consecuencias diversas para la producción de leche (Bradley, 2002). Se reconocen dos tipos de mastitis según la ausencia o presencia de signos clínicos: mastitis subclínica y clínica. Pese a que ambas formas de mastitis son reconocidas de tiempo atrás y se ha generado una gran cantidad de conocimiento en cuanto a sus causas y formas de control, continúa siendo la enfermedad más costosa de la producción lechera a nivel mundial (Seegers et al., 2003).

El efecto de la mastitis se puede agrupar en las pérdidas en la producción de leche y en la disminución de la rentabilidad del negocio (Seegers et al., 2003). La principal pérdida que se produce por efecto de la mastitis, tanto subclínica como clínica, es la reducción en la producción y la calidad de la leche, aunque la evidencia que hay al respecto no sea uniforme en cuanto a la forma de estimar la cantidad de leche que se pierde (Seegers et al., 2003).

La reacción inflamatoria produce un efecto caracterizado por lesiones

directas sobre los tejidos de la ubre y un aumento del riesgo de residuos de antibióticos en la leche. Entre otras causas, las dos anteriores son las principales razones para descartar la leche en los casos de mastitis clínica. Por otra parte, el aumento del Recuento de Células Somáticas –RCS– o cambios en el resultado del Californian Mastitis Test –CMT–, propio de las mastitis subclínicas, es suficiente para causar también disminución sustancial en la producción lechera (Seegers et al., 2003). Igualmente, debe señalarse que las vacas con mastitis



▲ Foto: Archivo COLANTA

no recuperan su producción de leche potencial aun después de haberse realizado el tratamiento y lograr una curación clínica o bacteriológica (Bar et al., 2007, 2008b).

Unido a lo anterior, otros factores económicos asociados con la mastitis serían la pérdida de bonificaciones por calidad de leche, reducción en la longevidad de las vacas con mastitis, el costo del diagnóstico y la compra de medicamentos para el tratamiento, demoras en la rutina de ordeño y el servicio veterinario (Halasa, 2012). En la Figura 1 se pueden observar los costos asociados con la mastitis bovina. Hay otros componentes económicos más difíciles de determinar, como la reducción en el consumo de materia seca y la pérdida de peso corporal (Seegers et al., 2003).



▲ Foto: Elizabeth Benjumea A.



**Figura 1.**

Factores que determinan el costo asociado con los casos de mastitis bovina.

Recientemente se ha incorporado otra variable a la estimación de las pérdidas producidas por la mastitis: el costo de la transmisibilidad de las infecciones (Pinzón, Cabrera et al., 2011). Si una vaca está infectada con una bacteria como *Staphylococcus aureus* y no se logra su curación, se considera que estaría infectada en forma persistente por el resto de la lactancia, aumentando así la presión de infección sobre las vacas que están sanas. Debería, en consecuencia, asumirse un costo por el tratamiento de las vacas que desarrollan nuevas infecciones, así como el costo que supone el tratamiento infructuoso de la vaca origen de las nuevas infecciones (Pinzón, Cabrera et al., 2011).

En consideración con lo anterior, el objetivo de esta revisión es describir, en forma resumida, cómo se afecta la rentabilidad del negocio lechero por causa de la mastitis bovina, clínica y subclínica, enfocándose especialmente en el efecto económico producido por la pérdida de leche.



▲ Foto: Archivo COLANTA

## Efecto de la mastitis sobre la producción de leche

En la estimación del efecto de la mastitis sobre la pérdida en la producción de leche, la mayoría de los estudios han sido realizados en Estados Unidos y países de Europa occidental, donde las producciones de leche son diferentes comparadas con las observadas en Latinoamérica. Aunque los valores promedio obtenidos han sido similares, los cálculos europeos tienen una mayor variación de los obtenidos en Estados Unidos (Holland et al., 2015).

Los efectos que tiene la mastitis sobre la producción de leche se han estimado de diferentes maneras, siendo las predicciones a partir de modelos de regresión las más comúnmente usadas (Seegers et al., 2003; Halasa, 2012). Esta forma de establecer la pérdida en la producción conlleva variaciones en cuanto a la cantidad de leche que se pierde, que ha sido estimada en kilos/vaca/día y en kilos/vaca/lactancia (Seegers et al., 2003; Holland et al., 2015).

También debe considerarse que las estimaciones de esta pérdida se han hecho con base en la producción reportada para el día del control lechero, sin considerar muchas veces la producción previa en la lactancia o el control previo, lo que puede

causar interferencias con la pérdida real (Seegers et al., 2003). Lo anterior se debe a que la pérdida en leche se ve afectada por los Días En Leche –DEL–, la ocurrencia del caso y el número de partos (Tabla 1). Así, se han reportado pérdidas de leche por lactancia entre 183 y 797 kilos en primerizas (Holland et al., 2015), con valores bajos como 31 kilos/lactancia (Seegers et al., 2003). En vacas multíparas, la pérdida puede considerarse similar a la descrita para primerizas, habiéndose observado valores entre 117 y 860 kilos/lactancia (Seegers et al., 2003).

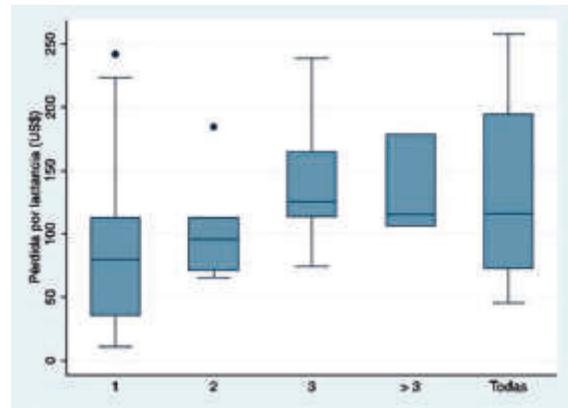
**Tabla 1.**

Pérdidas de leche por lactancia asociadas con la presentación de mastitis y costo estimado de la leche que se pierde (Adaptado de Seegers et al., 2003).

| Referencia             | No. partos | Pérdida (kilos/lactancia) | Dólares/Lactancia* |
|------------------------|------------|---------------------------|--------------------|
| Houben et al, 1993     | 1          | 80,4                      | 26,0               |
| Myllys & Rautala, 1995 | 1          | 33,4                      | 10,9               |
| Pedraza, 1991          | 1          | 746,9                     | 241,8              |
| Wilson et al., 2004    | 1          | 690,0                     | 223,4              |
| Houben et al, 1993     | 2          | 297,6                     | 96,4               |
| Wolf & Janke, 1990     | 2          | 201,2                     | 65,1               |
| Firat, 1996            | > 2        | 229,0                     | 74,1               |
| Pedraza, 1991          | > 2        | 735,8                     | 238,2              |
| Wilson et al., 2004    | 2 o más    | 570,0                     | 184,5              |

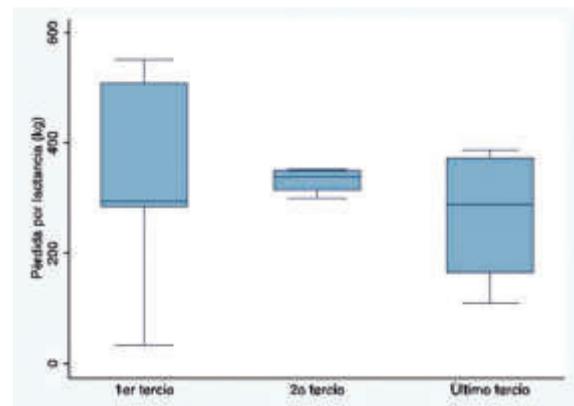
\* Estimado con un precio de leche aproximado de 0,32 dólares por litro pagado al productor en Colombia a octubre de 2015.

Asimismo, la estimación del costo de la leche que se pierde está relacionada con el número de partos de la vaca, donde es posible encontrar una alta variación en el dinero que se pierde durante la lactancia (Figura 2).



**Figura 2.**

Estimación del valor de la leche que se pierde en una lactancia por efecto de la mastitis. Valores calculados a partir de un precio de leche pagado al productor de 0,32 dólares en Colombia para octubre de 2015 (Adaptado de Seegers et al., 2003 y Holland et al., 2015).



**Figura 3.**

Valores promedio para la pérdida en producción de leche según el estado de la lactancia en vacas con mastitis. Adaptado de Rajala y Gröhn (1999).

Los resultados descritos en la tabla y la figura anteriores se ven afectados también por los DEL al momento de hacer las evaluaciones (Figura 3). Igualmente, los DEL al momento de la ocurrencia del caso de mastitis, tienen un efecto significativo sobre la decisión de descartar la vaca por esta causa (Rajala y Gröhn, 1999).



▲ Foto: Archivo COLANTA

Los modelos para estimar el efecto de la mastitis sobre la producción de leche también se ven afectados por otros factores como la duración del periodo de seguimiento de las vacas, la producción de las vacas y los patógenos involucrados, entre otros factores (Seegers et al., 2003; Gröhn et al., 2004; Bar et al., 2007; Schukken et al., 2009; Halasa, 2012). Debe considerarse también la política para la comercialización de la leche, pues otro factor que interfiere en la estimación del efecto de la mastitis sobre la producción es el sistema de cuotas. En los países donde no hay cuotas para la entrega de leche, el precio pagado no tiene variaciones y corresponde al valor del mercado (Halasa, 2009). No obstante, los cálculos presentados en esta revisión, corresponden a diferentes países, unos de ellos con sistema de cuotas (países europeos) y otros donde no las hay (Estados Unidos).

En resumen, puede señalarse que, en términos relativos, las pérdidas de leche por lactancia fluctúan entre el cero y el nueve por ciento, proporciones que pueden aplicarse a la producción por lactancia y, según el precio de venta, calcular la pérdida económica.

## Efecto del Recuento de Células Somáticas

El impacto que tiene el RCS sobre la producción de leche ha sido ampliamente revisado y descrito en la literatura, donde igualmente existen cálculos obtenidos con modelos de regresión (Koldeweij et al., 1999; Seegers et al., 2003; Holland et al., 2015). En términos generales el efecto del RCS ha sido evaluado en forma retrospectiva y sin considerar casos de mastitis clínica, es decir, evaluando el efecto de los casos subclínicos, establecidos mediante el RCS.

Pese a lo anterior, es necesario definir cuál es el punto de corte para establecer a partir de qué recuento se produce la pérdida en producción (Seegers et al., 2003). Este punto de corte seguramente es diferente del punto de corte para establecer la presencia de infección intramamaria fijado en 200.000 células/mililitro (CS/ml), por algunos autores (Schukken et al., 2003). Seegers et al. (2003) señalan que un punto de "no infección" puede fijarse en  $\leq 50.000$  CS/ml, pero lo único que haría la selección de este valor es incrementar la posibilidad de clasificar una mayor cantidad de animales como positivos cuando en realidad pueden estar libres de infección teniendo RCS entre 50.000 y 200.000 CS/ml.

La mayoría de los estudios están expresados como la pérdida en producción por cada unidad de aumento del RCS en unidades logarítmicas o como la pérdida por cada dos veces de

incremento en el RCS crudo (Seegers et al., 2003). Estos últimos autores concluyen que la pérdida en producción en primíparas puede estimarse en 0,40 kilos por día por cada dos veces de incremento en el RCS crudo, mientras que en vacas multíparas la pérdida puede alcanzar 0,60 kilos por día. Otros estudios realizados con vacas multíparas señalan una pérdida en producción de 2.04 kilos por día por cada unidad de aumento del RCS en logaritmo base 10 (Koldewej et al., 1999), similar a lo descrito por Seegers et al. (2003) en términos de RCS crudo.

Estudios más recientes indican que cada unidad porcentual de aumento del RCS en escala logarítmica induce una pérdida de 0,043 kilos por día (Holland et al., 2015). Estos mismos autores, en un modelo de regresión que incluye la interacción del RCS con el número de partos de la vaca, encontraron que la pérdida es levemente menor que en el modelo anterior (0,039 kilos por día) por cada incremento del 1% en el RCS expresado como logaritmo natural.

La pérdida en producción de leche a causa de una elevación en el RCS se puede cuantificar, bien sea que se tenga la información del RCS del tanque de enfriamiento o del RCS individual. Los dos ejemplos siguientes ilustran estos valores. La pérdida en la producción por el aumento del RCS corresponde, en promedio, a 0,5 kilos por cada dos veces de incremento en el RCS a partir de 50.000 células por mililitro (Seegers et al., 2003).

Para el ejemplo 1 se tiene una lechería con 32 vacas en lactancia, en el que los valores para el RCS en los últimos tres meses han sido 398.000, 487.000 y 520.000 CS/ml, se

entrega en planta un volumen diario de 1.030 litros y se considera un valor promedio del litro de leche al productor de 0,32 dólares. El productor de leche ha definido como objetivo mantener un RCS en el tanque de 150.000 CS/ml. A continuación se describen los pasos para estimar la pérdida:

### **Ejemplo 1:**

- **Paso 1:** Promediar los tres últimos RCS del tanque:  $(398.000 + 487.000 + 520.000)/3 = 468.330$  células por mililitro (CS/ml).

- **Paso 2:** Expresar en unidades de 100.000 células el valor promedio obtenido:  $(468.330 - 150.000)/100.000 = 3,18$

Esto significa que el promedio de células para esta lechería está 3,18 veces por encima del promedio establecido como objetivo por parte del productor.

- **Paso 3:** Establecer los litros que se pierden por el aumento del RCS por encima del objetivo, en este caso se asume que se pierde el 1,5% de la producción por cada incremento por encima del objetivo: Unidades x Pérdida/unidad x Envío diario =  $3,18 \times 0,015 \times 1030 = 49,13$  litros.

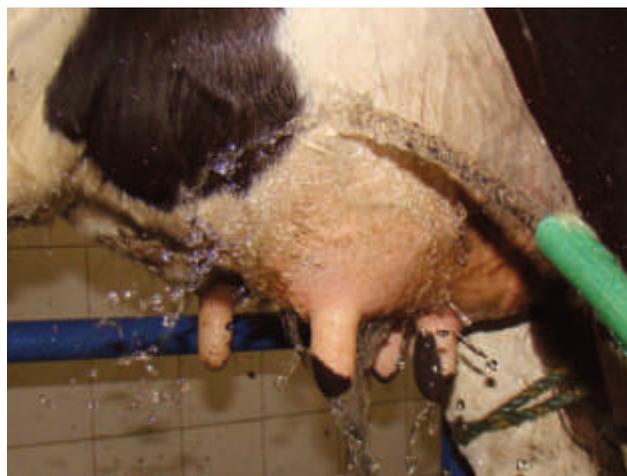
Esto significa que para las condiciones de esta lechería se están dejando de producir 49,13 litros diarios por causa de un aumento en el RCS 3,18 veces por encima del objetivo establecido.

- **Paso 4:** Determinar el valor diario de la leche perdida. Se considera un valor del litro de leche de 0,32 dólares (US\$) pagados al productor por cada litro de leche:  $49,13 \text{ L} \times \text{US\$}0.32/\text{L} = \text{US\$}15.7/\text{día}$ . Con esta pérdida diaria, en un año se

estarían dejando de recibir US\$5739 en el caso de que el RCS se mantenga 3,18 veces mayor al promedio establecido como objetivo.

En la Tabla 2 se puede observar cuál es el efecto en los ingresos de una lechería donde el promedio en el RCS del tanque disminuye desde 450.000 hasta 150.000 células por mililitro.

Según los resultados de la Tabla 2, se puede señalar que bajar el RCS desde 450.000 células por mililitro hasta 300.000 CS/ml, significa un aumento en el valor de la leche cercano a seis dólares por día que están representados por tener un RCS más bajo y que permite la bonificación. Por otra parte, bajar el RCS hasta 150.000 CS/ml, representaría no sólo un aumento en el volumen (aproximadamente 3%) sino mayor producción de sólidos como proteína y grasa, una mayor bonificación por bajo RCS y, en términos económicos, 26,9 dólares más por día.



▲ Foto: Archivo COLANTA

### • Estimación de la pérdida de leche por alto RCS en vacas individuales.

Para determinar la pérdida en vacas individuales, es necesario transformar el RCS al puntaje lineal –LS– (por su sigla en inglés: Linear Score). En esta escala, por cada unidad de aumento en el LS, el recuento crudo aumenta el doble. El RCS en puntaje lineal se obtiene con la siguiente ecuación:

$$LS(RCS) = \frac{\ln\left(\frac{RCS}{100}\right)}{\ln(2)} + 3$$

donde el RCS se expresa en células por microlitro (dividir por 100 el valor en miles de células por mililitro) y Ln corresponde al logaritmo natural del RCS (células por microlitro) y al logaritmo natural de 2.

En el ejemplo 2 se ilustra la forma de calcular la pérdida de leche y la cuantificación económica cuando el RCS está estimado por vaca. Se mantiene el ejemplo de la lechería anterior, considerando que hay 21 vacas con un RCS por encima del objetivo, para el que el LS que se ha fijado en 3,0.

**Tabla 2.**

Valor de la leche producida por día según diferentes recuentos de células somáticas (RCS).

| Variable                     | Situación 1 | Situación 2  | Situación 3   |
|------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Volumen (Litros/día)         | 1000        | 1000         | 1030 (+50)    |
| Grasa (%)                    | 3,9         | 3,9          | 3,9           |
| Proteína (%)                 | 3,2         | 3,2          | 3,2           |
| Otros sólidos (%)            | 5,1         | 5,1          | 5,1           |
| RCS en tanque (miles/mL)     | 450         | 300          | 180           |
| Grasa (kilos/día)            | 39,0        | 39,0         | 41,0 (+2,0)   |
| Proteína (kilos/día)         | 32,0        | 32,0         | 33,0 (+1,0)   |
| Valor de la leche (Dólares)* | 320,0       | 326,0 (+6,0) | 346,9 (+26,9) |

\* Estimado con un precio de leche aproximado de 0,32 dólares por litro pagado al productor en Colombia a octubre de 2015.



▲ Foto: Elizabeth Benjumea A.

### **Ejemplo 2:**

- **Paso 1:** Convertir el RCS de cada vaca al LS (logaritmo base 2) según la ecuación descrita.
- **Paso 2:** Sustraer 3,0 a los puntajes lineales de cada vaca en el hato con un LS > 3,0 y sumar las diferencias. Por ejemplo, una vaca con un LS de 3,2 aporta 0,2 a la sumatoria total.  
Para el ejemplo se tienen 21 vacas con un LS > 3,0. Las diferencias en estas 21 vacas suman 37,1.
- **Paso 3:** Estimar la pérdida en leche. Se considera que se pierde un 5% por cada punto por encima de 3,0. Luego de totalizar la suma de las diferencias, se multiplica el valor total por 0,05.  
Pérdida de leche =  $37,1 \times 0,05 = 1,86$
- **Paso 4:** Totalizar el porcentaje de pérdida en producción y multiplicar por la producción promedio de las vacas de la lechería.

El factor de pérdida se ha establecido en 1,86, que se multiplica por la producción promedio por vaca = 1030 litros/32 vacas = 32,2 litros/vaca. La pérdida está estimada en  $1,86 \times 32,2 = 60$  litros por día.

- **Paso 5:** Establecer el valor diario de la pérdida en términos económicos:  
 $60 \times 0,32$  dólares = 19,2 dólares, que equivalen a 7.008 dólares en el año.

Hay otros factores asociados con el alto RCS que merecen ser estudiados como, por ejemplo, el efecto que tienen patógenos específicos causantes del elevado RCS, el número de partos y el estado de la lactancia en el que se encuentra la vaca. Además, en algunos casos, se cuantifica el efecto de la mastitis clínica unido al RCS, lo que puede causar sobrestimaciones de la pérdida en leche (Seegers et al., 2003).

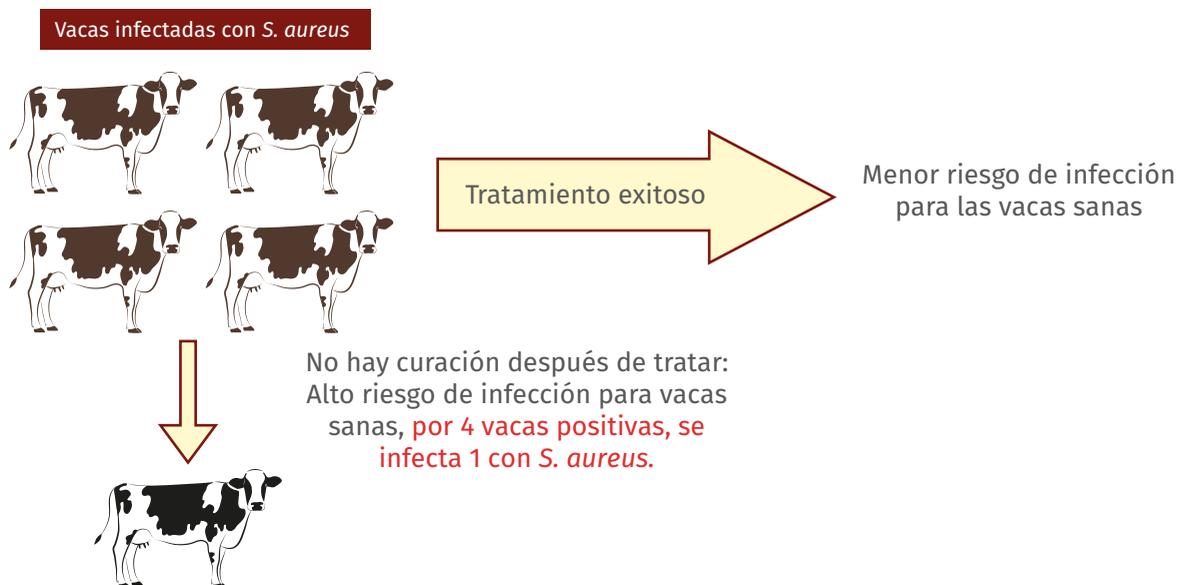
Aunque no es el objetivo de esta revisión, hay otro factor que debe considerarse en las pérdidas que causa una mastitis y es el costo de la transmisión (Pinzón, Cabrera et al., 2011). Este se refiere a que una vaca con una infección intramamaria, que fue tratada pero que no se curó, continúa infectada y positiva por el resto de la lactancia. Por ejemplo, si la infección es producida por *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), la vaca que está infectada puede infectar a 0,25 vacas del hato que estén sanas (Pinzon, Cabrera et al., 2011). En otras palabras, se puede decir que se necesitan cuatro vacas positivas para que se infecte una vaca que estaba libre de infección (Figura 4).

En la situación descrita (Figura 4), la lechería incurre en gastos adicionales por las nuevas infecciones que se producen

como consecuencia de mantener vacas positivas crónicas en el hato. Sin embargo, este costo que implica la transmisión no está considerado en muchos de los estudios descritos en esta revisión y son costos adicionales que no deben ser ignorados.

## Conclusión

La mastitis, en cualquiera de sus formas, causa una pérdida económica importante para el productor y, en general, para el negocio lechero alrededor del mundo. La magnitud del problema va a depender de diferentes factores inherentes al negocio, como el tamaño de la lechería, la producción promedio de las vacas, el número de partos y el estado de la lactancia, entre otros factores.



**Figura 4.**

Dinámica de infección en hatos con vacas positivas para infecciones intramamarias por *S. aureus* que no han respondido al tratamiento. Elaborado con información adaptada de Pinzón-Sánchez et al. (2011).

Asimismo, hay factores externos a la lechería que también pueden afectar la rentabilidad, como son las cuotas en aquellos países donde está establecido este sistema de comercialización.

Independiente de los factores que se acaban de mencionar, es claro que el mayor impacto económico que tiene la mastitis sobre la rentabilidad de la lechería es por causa de la leche que se pierde por mermas en la producción debido a lesiones directas sobre los tejidos de la glándula mamaria, la leche de descarte por los tratamientos y la leche que se deja de producir, ya que la vaca no recupera su producción potencial. Esta pérdida puede representar hasta un 65% de los costos relacionados con el tratamiento de una mastitis, lo que significa que el 35% restante se reparte entre otros factores que también afectan la rentabilidad de las lecherías, de tal forma que cada uno de ellos tendría una menor participación comparado con la pérdida en leche.

La única forma de minimizar esta pérdida es mediante el establecimiento de medidas de prevención y control de la mastitis clínica y subclínica, ya que hay inversiones conducentes a prevenir la mastitis que tienen un alto retorno de la inversión e impactan directamente en las medidas preventivas, tales como la terapia de vaca seca, sólo por mencionar un ejemplo.

En la medida en la que el productor tome conciencia del costo de esta enfermedad y defina las acciones para prevenirla, podrá mejorarse la rentabilidad de la producción de leche no solo en los países donde más se ha estudiado su impacto económico sino también en Latinoamérica. ■

## Referencias

- Bar, D., Grohn, Y. T., Bennett, G., Gonzalez, R. N., Hertl, J. A., Schulte, H. F., Tauer, L. W., Welcome, F. L. & Schukken, Y. H. (2007). Effects of repeated episodes of generic clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90 (10), 4643-4653.
- Bar, D., Grohn, Y. T., Bennett, G., Gonzalez, R. N., Hertl, J. A., Schulte, H. F., Tauer, L. W., Welcome, F. L. & Schukken, Y. H. (2008a). Effects of repeated episodes of generic clinical mastitis on mortality and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91 (6), 2196-2204.
- Bar, D., Grohn, Y. T., Bennett, G., Gonzalez, R. N., Hertl, J. A., Schulte, H. F., Tauer, L. W., Welcome, F. L. & Schukken, Y. H. (2008b). The cost of generic clinical mastitis in dairy cows as estimated by using dynamic programming. *Journal of Dairy Science*, 91 (6), 2205-2214.
- Bradley, A. (2002). Bovine mastitis: An evolving disease. *Veterinary Journal*, 164 (2), 116-128.
- Cha, E., Bar, D., Hertl, J. A., Tauer, L. W., Bennett, G., Gonzalez, R. N., Schukken, Y. H., Welcome, F. L. & Gröhn, Y. T. (2011). The cost and management of different types of clinical mastitis in dairy cows estimated by dynamic programming. *Journal of Dairy Science*, 94 (9), 4476-4487.
- Cha, E., Kristensen, A. R., Hertl, J. A., Schukken, Y. H., Tauer, L. W., Welcome, F. L. & Gröhn, Y. T. (2014). Optimal insemination and replacement decisions to minimize the cost of pathogen-specific clinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97 (4), 2101-2117.
- Gröhn, Y. T., Wilson, D. J., Gonzalez, R. N., Hertl, J. A., Schulte, H., Bennett, G. & Schukken, Y. H. (2004). Effect of pathogen-specific clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87 (10), 3358-3374.



▲ Foto: César Hernández O.

Halasa, T. (2009). *Bio-economic modeling of bovine intramammary infections*. Department of Farm Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.

Halasa, T. (2012). Bioeconomic modeling of intervention against clinical mastitis caused by contagious pathogens. *Journal of Dairy Science*, 95 (10), 5740-5749.

Holland, J. K., Hadrich, J. C., Wolf, C. A. & Lombard, J. (2015). *Economics of measuring costs due to mastitis-related milk loss*. AAEP & WAEA Joint Annual Meeting, San Francisco, CA.

Koldewey, E., Emanuelson, U & Janson, L. (1999). Relation of milk production loss to milk somatic cell count. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 40 (1), 47-56.

Pinzón, C., Cabrera, V. E. & Ruegg, P. L. (2011). Decision tree analysis of treatment strategies for mild and moderate cases of clinical mastitis occurring in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 94 (4), 1873-1892.

Rajala, P. J. & Gröhn, Y. T. (1999). Culling of dairy cows. Part I. Effects of diseases on culling in Finnish Ayrshire cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 41 (2-3), 195-208

Schukken, Y. H., Hertl, J., Bar, D. Bennett, G. J., Gonzalez, R. N., Rauch, B. J., Santisteban, C., Schulte, H. F., Tauer, L., Welcome, F. L. & Grohn, Y. T. (2009). Effects of repeated gram-positive and gram-negative clinical mastitis episodes on milk yield loss in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92 (7), 3091-3105.

Schukken, Y. H., Wilson, D. J. Welcome, F. Garrison, L. & Gonzalez, R. N. (2003). Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Veterinary Research*, 34 (5), 579-596.

Seegers, H., Fourichon, C. & Beaudeau, F. (2003). Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Veterinary Research*, 34 (5), 475-491.