

USO DE HERRAMIENTAS DE SOPORTE DE DECISIÓN PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO ECONÓMICO DE LOS PRODUCTORES LECHEROS

Una página web de la Universidad de Wisconsin-Madison, de acceso gratuito, ofrece más de cuarenta herramientas informatizadas de soporte de decisión para la industria láctea.

Víctor E. Cabrera

Catedrático y especialista en extensión de producción lechera, Universidad de Wisconsin-Madison



Escanea este código QR con tu móvil o visita la URL <https://bit.ly/xxx> para acceder a la versión digital de este artículo en nuestra web



Este artículo revisa un grupo de herramientas informatizadas de soporte de decisión, contenidas en la web “Manejo de Granjas Lecheras” de la Universidad de Wisconsin-Madison (<http://dairymgt.info>). Se trata de un grupo de más de 40 herramientas informatizadas destinadas a ayudar a los productores lecheros a mejorar su toma de decisiones, su manejo medioambiental y el rendimiento económico. Los sistemas de producción lecheros son muy dinámicos y cuentan con un alto número de componentes integrados, como el manejo del productor, las condiciones climáticas, la genética de los animales, etc. Por lo tanto, es crítico evaluar cada granja lechera mediante un sistema integrado y dinámico de análisis que utilice los datos de registro pertinentes. Estos datos ayudan a las herramientas informatizadas de decisión a predecir las posibles consecuencias debidas a un cambio de manejo. Así, los productores pueden mejorar sus decisiones como resultado de un análisis científico sistemático. Las herramientas de la Universidad de Wisconsin-Madison han sido desarrolladas teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

- Uso fácil.
- Disposición de las últimas tecnologías de *hardware* y *software*.
- Utilidad para la toma de decisiones específicas en cada explotación.

- Aplicación de los últimos descubrimientos científicos.
- Proporcionar respuestas concretas a preguntas complejas.

La página web que aloja estas herramientas se ha concebido como un espacio científico en el que listar y disponer de herramientas de decisión útiles en muchas áreas de manejo: nutrición y alimentación, reproducción, crianza de terneras, reposición de animales, riesgo de precios y medioambiente. Este artículo describe y ejemplifica un número seleccionado de dichas herramientas, como extracto adaptado y traducido de un artículo recientemente publicado en la revista científica *Animal* (Cabrera, 2018).

INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones basada en datos es una necesidad en las granjas lecheras actuales. Estas explotaciones han adoptado innovaciones tecnológicas que producen grandes cantidades de datos pero, en la mayoría de los casos, toda esta información no está integrada de manera eficiente para mejorar la gestión y la toma de decisiones. Es imperativo desarrollar un sistema que pueda recopilar, integrar, gestionar y analizar datos dentro y fuera de la granja para llevar a cabo acciones prácticas y

relevantes. Está documentado que los ganaderos lecheros toman decisiones importantes de manejo de manera no programada, confiando principalmente en la intuición y la experiencia (Groenendaal y Galligan, 2005). Estas decisiones no son eficientes en el uso de los datos disponibles debido a la falta de marcos de análisis adecuados y herramientas de apoyo a la toma de decisiones. En general, las granjas lecheras son deficientes en el uso de marcos de proyección avanzados como la simulación y la optimización (Bewley *et al.*, 2010). Es de importancia crítica conseguir un marco eficiente de sistemas de apoyo a la toma de decisiones y a la gestión para la ganadería lechera (Meadows *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2006; Giordano *et al.*, 2011). Varias instituciones y empresas de investigación y extensión, conscientes de esta necesidad, están proporcionando herramientas de apoyo a la toma de decisiones basadas en sistemas expertos de inteligencia artificial (Chase *et al.*, 2006). Una de estas iniciativas es

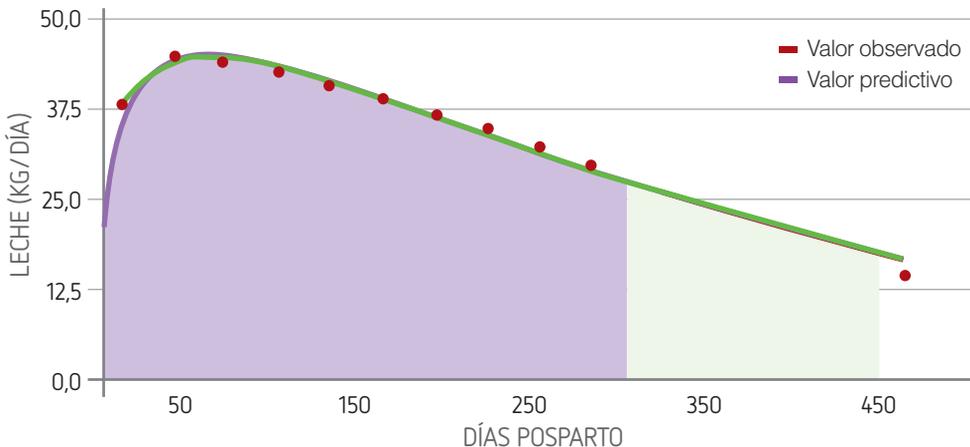
el programa de investigación y extensión sobre manejo de ganaderías lecheras de la Universidad de Wisconsin-Madison. Desde 2008 dicha iniciativa ha desarrollado y promovido el uso de un soporte de decisión científico simple, sólido, robusto y fácil de usar a través de varias herramientas de gestión para explotaciones lecheras.

LA WEB "MANEJO DE GRANJAS" DE LA UNIVERSIDAD DE WISCONSIN-MADISON

La página web de la Universidad de Wisconsin-Madison "Manejo de Granjas" es un sistema de información *online* en el que destaca la sección "Herramientas". Es allí donde se encuentran más de 40 herramientas informatizadas de apoyo a la toma de decisiones junto con su información científica de respaldo. Las herramientas están clasificadas en las siguientes áreas de manejo para granjas lecheras:

1. Alimentación y nutrición.
2. Novillas.

FIGURA 1. Curva de lactación ajustada (línea continua) a los datos de producción del rebaño (marcadores) de acuerdo con la función de Woods ($y=at^b e^{-ct}$) usando la herramienta "Ajustador de la curva a producción de leche".



La herramienta reporta los parámetros $a = 21,1515$, $b = 0,2365$ y $c = 0,0036$ y puede calcular la producción esperada en cualquier intervalo de tiempo (ej.: la producción a 305 días es 11,528 kg). La herramienta también permite observar interactivamente el impacto de cambios en cualquiera de los parámetros que definen la función.

3. Reproducción.
4. Producción.
5. Reposición.
6. Salud.
7. Riesgos asociados al precio.
8. Medioambiente.

A continuación, se describen brevemente un número seleccionado de las herramientas disponibles. Para cada herramienta seleccionada, el objetivo es proporcionar una idea clara de lo que hace, cuál es su base científica y cómo se podría usar para la toma de decisiones prácticas. Todas estas herramientas están disponibles de manera gratuita en <http://dairymgt.info/tools.php>. A menos que se indique lo contrario, todas las herramientas son *software online*, lo que significa que trabajan directamente en un navegador web.

Producción

Ajustador de la curva de producción de leche

Esta herramienta convierte los datos de producción en una función de predicción de la curva de lactación. Esto es útil para proyectar la producción de leche, evaluar el impacto de los cambios en el pico o la persistencia de la curva de lactación y para otras decisiones de manejo. La herramienta es muy efectiva para proyecciones y análisis económicos del rebaño lechero y se puede usar para la toma de decisiones en varias áreas de manejo como reproducción, salud, nutrición, genética, etc. El objetivo de esta herramienta es facilitar a los productores curvas de lactación específicas para su explotación que les ayuden a una mejor toma de decisiones. La herramienta ajusta los datos observados en las curvas de lactación predefinidas, ya sea a las funciones *MilkBot* (Ehrlich, 2011; cuatro parámetros) o al modelo de Wood (Wood, 1967; tres parámetros), a los datos observados en la granja. El ajuste de parámetros se realiza con la optimización de mínimos cuadrados al comparar los datos observados con los datos predictivos. Los resultados del ajuste son los valores del

coeficiente de la función seleccionada en términos matemáticos. El usuario puede introducir la producción de leche del rebaño en varios puntos durante la lactación (ejemplo: producción promedio de leche cada 30 días, después del parto, de las vacas de segunda lactación). Seguidamente selecciona el modelo elegido (*MilkBot* o *Woods*) para ajustar los datos. Una vez que se ha determinado la función de la lactación, el usuario puede calcular la cantidad de leche producida dentro de los períodos definidos y evaluar el impacto de diferentes variables en la curva de lactación.

Alimentación y nutrición

FeedVal

Esta herramienta evalúa el valor real de los ingredientes de la ración según su composición en nutrientes y la información del precio de mercado de los alimentos seleccionados. Para aquellas fuentes que tienen un precio de mercado, la herramienta proporciona una comparación del precio previsto y el precio de mercado y ordena esas fuentes por preferencia de compra. *FeedVal* ayuda a los productores, nutricionistas y consultores de granjas lecheras a tomar decisiones económicas optimizadas para la compra y utilización de ingredientes para raciones. La herramienta se basó en las ecuaciones propuestas por St. Pierre y Glamočic (2000), quienes propusieron un enfoque para resolver ecuaciones múltiples en matrices irregulares compuestas de ingredientes de alimentos (en las filas) y nutrientes (en las columnas). En resumen, la solución matricial es el valor de cada nutriente que mejor explica el precio de mercado agregado de todos los alimentos. El usuario debe definir los ingredientes de la ración, el número y los nutrientes a evaluar (por ejemplo: proteína cruda, energía, fibra, almidón, metionina, etc.), su precio de mercado y la composición en nutrientes. En su configuración predeterminada, *FeedVal* está precargado con las composiciones de nutrientes NRC (2001) de 40 alimentos habituales en la industria lechera y los precios de dichos

alimentos. Sin embargo, el usuario puede cambiar toda la información precargada por defecto según sus necesidades.

Grupos nutricionales

Esta herramienta cuantifica el valor económico de la separación de las vacas lactantes en grupos nutricionales con dietas específicas, en comparación con la opción de proporcionar una sola dieta a todas las vacas lactantes. Como resultado, informa del margen económico calculado en base a los ingresos por producción de leche en relación al coste de la alimentación (ILCA, por sus siglas en inglés), a los que se añaden los costes/beneficios adicionales derivados de otras variables como el manejo, las pérdidas de leche y los aditivos. Los resultados se muestran para cuatro criterios de agrupación: (1) requerimientos de proteína y energía de las vacas agrupadas; (2) días en lactación; (3) producción de leche con grasa corregida (FCM); y (4) FCM + peso vivo (PV). El resultado es que la agrupación nutricional aumenta el ILCA y el margen económico, mientras disminuye las emisiones al medioambiente y mejora la salud del rebaño (Cabrera y Kalantari, 2016; Kalantari *et al.*, 2016).

Esta herramienta fue concebida para demostrar y cuantificar el valor económico de aumentar el número de dietas por rebaño. Su diseño se inspiró en McGilliard *et al.* (1983), quienes propusieron un enfoque de conglomerado como el mejor criterio para agrupar vacas y demostraron que la agrupación nutricional era mejor alternativa que la no agrupación. La herramienta clasifica las vacas en lactación según los criterios de agrupación seleccionados y las agrupa de acuerdo con los tamaños de grupo predefinidos. Para el criterio de conglomerado, primero se calculan los requisitos de densidad de energía y proteína para cada vaca basándose en el FCM, el PV y la etapa de lactación. Seguidamente se estima la ingestión según el NRC (2001). Por último se calcula la densidad de nutrientes de la dieta, que es la división de la cantidad de nutrientes entre la ingestión; que se formula para todas las comparaciones

mediante el percentil 83 (Stallings y McGilliard, 1984). Una vez que se definen los grupos y las dietas, la herramienta calcula el ILCA para cada vaca y lo agrega para cada grupo y para todo el rebaño. El usuario debe definir los costes de los nutrientes, el precio de la leche e introducir los registros de todas las vacas en lactación con los siguientes campos: identificación animal, lactación, días posparto, producción de leche, porcentaje de grasa y, opcionalmente, PV. Si no hay información disponible sobre el peso de los animales, se solicita un PV promedio estimado. Una vez introducidos los datos, el usuario define la situación actual y la situación posible en el rebaño con respecto al agrupamiento nutricional. Por ejemplo, una granja que proporciona a todas las vacas lactantes solo una dieta (actual) podría optar por proporcionar tres dietas. A continuación, el usuario define el tamaño de los grupos, la densidad de la dieta actual y los costes y beneficios adicionales esperados. Los posibles costes adicionales podrían incluir mano de obra por reparto de comida adicional y las pérdidas en la producción de leche debido al reagrupamiento de las vacas. Los beneficios potenciales podrían incluir ahorros en aditivos para piensos que ya no son necesarios para algunos grupos de vacas. Finalmente la herramienta muestra el beneficio económico de las diferentes estrategias grupales en comparación con la estrategia actual definida por la granja. Los resultados incluyen, para cada grupo y criterio, una lista de vacas que pertenecen a cada grupo y la densidad de nutrientes recomendada para su dieta.

Reproducción

Wisconsin-Cornell Dairy Repro: software de ejecución independiente

Esta herramienta calcula y compara el valor económico de los programas reproductivos, que pueden incluir sincronización, detección de celo o una combinación de ambos. Los resultados muestran el rendimiento reproductivo, su resultado económico correspondiente y las estadísticas de la demografía del rebaño. El objetivo de esta herramienta es ayudar a los product-

res y asesores a mejorar la toma de decisiones sobre manejo reproductivo de cara al desempeño reproductivo y la economía de la granja. El modelo de la herramienta es un sofisticado algoritmo de cadena de Markov descrito en Giordano *et al.* (2012) que simula el comportamiento diario de cada vaca y ternera en el rebaño, y calcula el beneficio neto asociado al rendimiento reproductivo. El modelo sigue los eventos probabilísticos diarios de envejecimiento, reposición, mortalidad, gestación, pérdida del gestación y parto, dentro de un programa reproductivo definido. El usuario tiene que definir de manera detallada los parámetros económicos del rebaño, las curvas de lactación y los programas reproductivos. La herramienta permite definir un programa de reproducción actual y otro alternativo, y los resultados se pueden expresar como una diferencia entre la alternativa y el programa actual, por lo que permite conocer el valor esperado de los cambios. Los programas reproductivos definidos por el usuario utilizan un menú interactivo basado en los protocolos reproductivos más comunes en la industria láctea (Cabrera y Giordano, 2013) y la definición incluye valores económicos de mano de obra para la detección de celo y la sincronización hormonal, así como un calendario de actividades. Los resultados muestran la diferencia económica entre el programa actual y el alternativo, así como los componentes económicos de la diferencia, el rendimiento reproductivo y la demografía del rebaño entre los que se incluye un análisis de la oferta y demanda de novillas (*figura 2*).

Reposición

El valor económico de una vaca

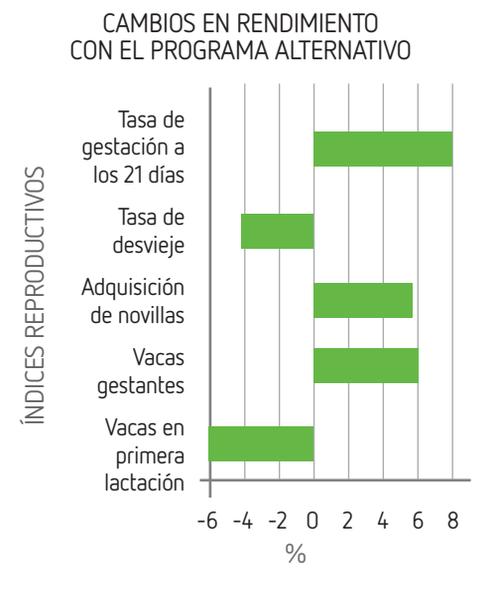
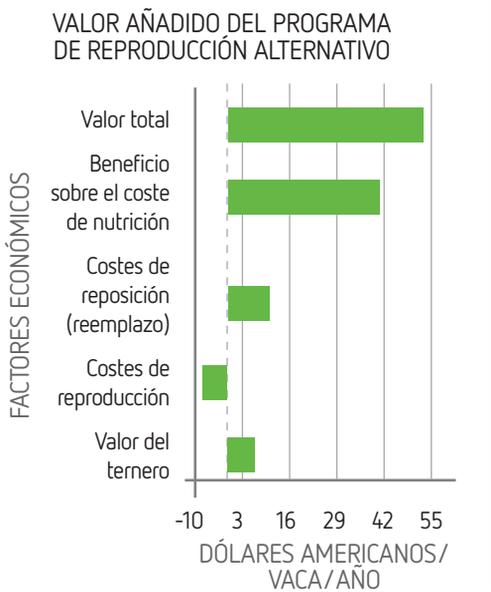
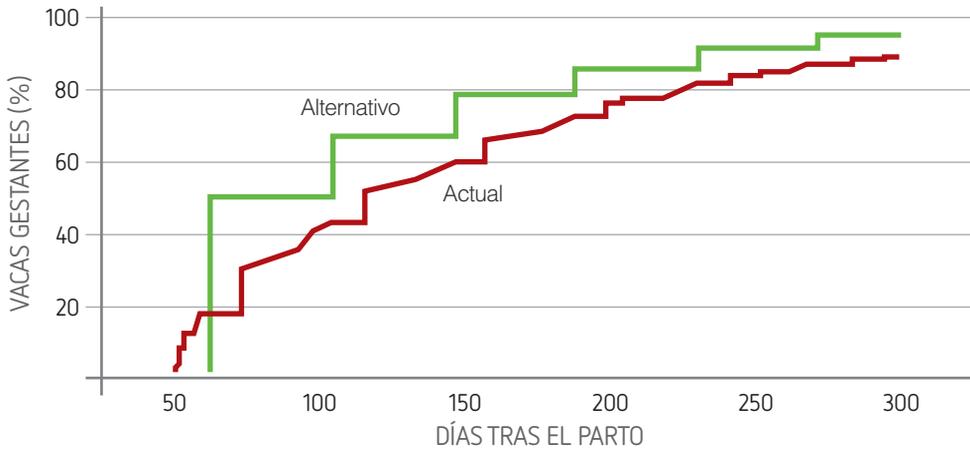
Esta herramienta calcula el valor de cada vaca en el rebaño, lo que tiene implicaciones críticas para la toma de decisiones en muchas áreas de la gestión de granjas lecheras. El valor de una vaca determina cuánto se proyecta que esa vaca contribuirá al rebaño en comparación con cuánto contribuiría un animal de reposición. Por lo tanto, el valor de una vaca establece si es mejor mantener o reemplazar un animal. No obstante, este valor se puede utilizar para tomar

otras decisiones, como tipos de tratamientos o de inseminación más apropiados para cada animal. Además, este valor se puede utilizar para calcular índices económicos importantes ampliamente utilizados en la industria lechera, como el valor de una gestación, el coste de cada día abierto o el coste de una pérdida de gestación. Esta herramienta introduce además una formulación nueva y simple del problema de la reposición (Cabrera, 2012). La herramienta calcula el valor presente neto agregado de la vaca evaluada y lo compara con el valor presente neto agregado de un posible reemplazo. También calcula la diferencia de ambos valores más el coste de la transacción de la reposición, lo que se convierte en el valor de la vaca (*figura 3*).

El valor de una vaca determina cuánto se proyecta que esa vaca contribuirá al rebaño en comparación con cuánto contribuiría un animal de reposición.

El usuario define los siguientes parámetros para cada vaca: lactación, días después del parto, días de gestación y capacidad de producción genética. De modo similar, el usuario define la capacidad de producción genética del posible animal de reemplazo. Además, se introducen los parámetros de producción y reproducción del rebaño, como la producción promedio de leche, la tasa de eliminación y la tasa de gestación. Finalmente, el usuario introduce variables económicas como el precio de la leche, el coste del alimento o el valor de la novilla. Los resultados muestran el valor de la vaca y sus componentes, lo que se representa gráficamente como el rendimiento neto mensual descontado a largo plazo (*figura 2*). Si este valor es positivo, indica que mantener a la vaca en el rebaño aporta más valor económico, pero si es negativo indica que es mejor reemplazar al animal.

FIGURA 2. Desempeño reproductivo y económico del programa reproductivo actual frente a un programa reproductivo alternativo.



Programa actual: PreSynch OvSynch-14 (tasa de concepción del 30%, CR), seguido de OvSynch (30% CR) con detección de celo del 60% y 30% del CR. **Programa alternativo:** Doble OvSynch (50% CR) seguido de OvSynch (35% CR) sin detección de celo. El rendimiento reproductivo (panel izquierdo) indica gestaciones más rápidas en el programa alternativo. Los análisis económicos correspondientes (panel central) indican que, con la excepción de los costes de reproducción, el programa alternativo supera al programa actual en todas las demás medidas económicas, lo que resulta en una ganancia neta de 52,7 dólares americanos/vaca/año. Como se puede observar (panel derecho) con el programa alternativo aumenta la tasa de gestación a los 21 días, el suministro de novillas y el porcentaje de vacas gestantes en el rebaño, mientras que la tasa de sacrificio y el porcentaje de vacas en primera lactación disminuyen. Con esta herramienta, los ganaderos pueden seleccionar el programa reproductivo más eficiente y rentable para sus granjas.

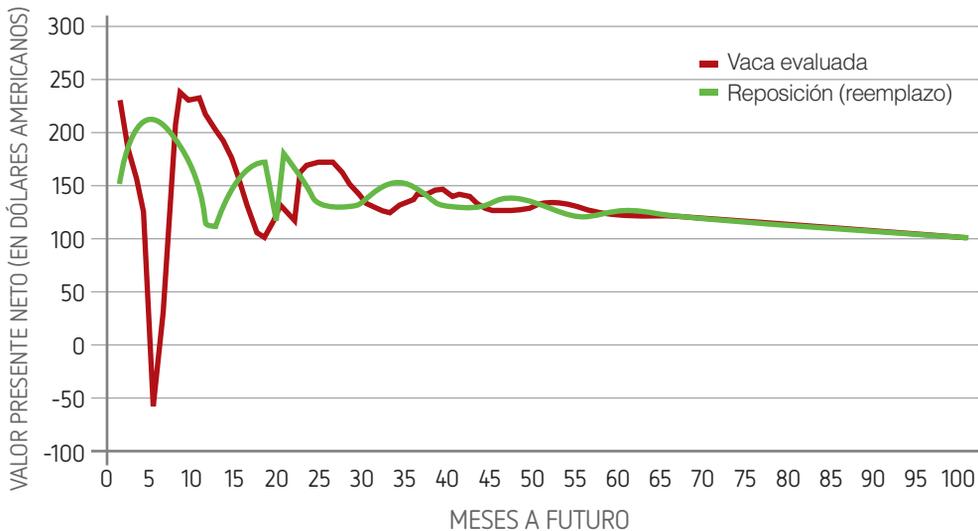
Salud

Recuento de células somáticas y valor de la leche

Esta herramienta determina si es beneficioso retirar la leche del tanque de algunas vacas con alto recuento de células somáticas (SCC). De este modo, ayuda a los productores a conseguir la mejor prima (o una sanción más baja) por sus niveles de SCC en leche a granel. Esta herramienta muestra el valor del SCC final del tanque dentro de un umbral SCC máximo definido. El valor de la leche del tanque depende de la cantidad de leche, su precio y del nivel agregado de SCC del tanque. Por lo tanto, podría tener sentido retirar un poco de leche

de vacas con altos SCC para aumentar el precio de la misma, pues el aumento en el precio podría compensar la pérdida en cantidad. Además, la leche no vendida se podría usar en la granja como alimento para terneros después de su pasteurización. La reutilización de la leche con altos SCC aumenta el valor de la producción y, por lo tanto, compensa la posibilidad de retirar dicha leche con alto SCC, lo que queda reflejado numéricamente con esta herramienta. El usuario debe definir: el límite máximo de SCC para la leche (e indirectamente el nivel de SCC para el tanque), el programa de primas/sanciones de SCC, una matriz de SCC y rendimiento de leche individuales, el precio de la leche y la

FIGURA 3. Valor actual neto de una vaca de producción promedio en la tercera lactación: 7 meses después del parto, a los 4 meses de gestación (vaca evaluada), y comparación con el valor actual neto de una vaca de reposición (reemplazo) durante 100 meses a futuro.



Valor económico de la vaca = (valor actual neto agregado de la vaca) – (valor actual neto agregado de la sustitución) – (coste de transacción de la reposición) = 497 dólares (todos los demás parámetros se definen en Cabrera, 2012). Cada punto en las curvas es función de (1) la productividad y la composición genética –en este ejemplo ambas son vacas promedio- (2) el estado de la vaca -lactación, meses posparto, estado de gestación- y (3) riesgo natural de reemplazo. En términos probabilísticos, una vaca está compuesta del animal original y una proporción cada vez mayor de sus reemplazos, lo que se evidencia en el hecho de que ambos animales (evaluado y reemplazo) terminan teniendo el mismo valor después de un largo periodo de tiempo. Ambas curvas tienen una ligera tendencia negativa debido al interés (descuento) utilizado para convertir los valores futuros al presente.

posibilidad y valor de la reutilización de la leche descartada. Seguidamente, los algoritmos pueden determinar el impacto económico de retirar la leche de algunas vacas con alto SCC. Los resultados mostrarán la lista de vacas a partir de las cuales se debe retirar la leche para

alcanzar un SCC inferior al límite, el SCC final del tanque, el precio final de la leche con primas y sanciones modificadas, el valor del tanque al momento de retirar la leche con altos SCC y este valor en comparación con la inclusión de la leche de todas las vacas. ●

BIBLIOGRAFÍA

1. Bewley JM, Boehlje MD, Gray AW, Hogeveen H, Kenyon SJ, Eicher SD y Schultz MM. 2010. Stochastic simulation using @Riskfordairybusiness investment decisions. *Agricultural Finance Review* 70, 97–125.
2. Cabrera VE. 2012. A simple formulation and solution to the replacement problem: a practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *Journal of Dairy Science* 95, 4683–4698.
3. Cabrera VE. 2018. Helping dairy farmers to improve economic performance utilizing data-driving decision support tools. *Animal* 12 (1), 134–144.
4. Cabrera VE, Hildebrand PE, Jones JW, Letson D y de Vries A. 2006. An integrated North Florida Dairy Farm model to reduce environmental impacts under seasonal climate variability. *Agriculture Ecosystems and Environment* 113, 82–97.
5. Cabrera VE y Giordano JO. 2013. Evaluating the economic value of changing the reproductive management program for a specific dairy farm. *DAIReXNETeXtension*, 23 October 2013.
6. Cabrera VE y Kalantari AS. 2016. Economics of production efficiency: nutritional grouping. *Journal of Dairy Science* 99, 825–841.
7. Chase LE, Ely LO y Hutjens MF. 2006. Major advances in extension education programs in dairy production. *Journal of Dairy Science* 89, 1147–1154.
8. Ehrlich JL. 2011. Quantifying intergroup variability in lactation curve shape and magnitude with the MilkBot lactation model. *The Bovine Practitioner* 45, 88–95.
9. Giordano JO, Fricke PM, Wiltbank MC y Cabrera VE. 2011. An economic decision-making support system for selection of reproductive management programs on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 94, 6216–6232.
10. Giordano JO, Kalantari A, Fricke PM, Wiltbank MC y Cabrera VE. 2012. A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrous detection. *Journal of Dairy Science* 95, 5442–5460.
11. Kalantari AS, Armentano LE, Shaver RD y Cabrera VE. 2016. Economic impact of nutritional grouping in dairy herds. *Journal of Dairy Science* 99, 1672–1692.
12. Groenendaal H y Galligan DT. 2005. Making informed culling decisions. *Advances in Dairy Technology* 17, 333–344.
13. McGilliard ML, Swisher JM y James RE. 1983. Grouping lactating cows by nutritional requirements for feeding. *Journal of Dairy Science* 66, 1084–1093.
14. Meadows C, Rajala-Schultz PJ y Frazer GS. 2005. A spreadsheet-based model demonstrating the non uniform economic effects of varying reproductive performance in Ohio dairy herds. *Journal of Dairy Science* 88, 1244–1254.
15. National Research Council (NRC). 2001. Nutrient requirements for dairy cattle. 7th revised edition. The National Academies Press, Washington, DC.
16. St-Pierre NR y Glamocic D. 2000. Estimating unit costs of nutrients from market prices of feedstuffs. *Journal of Dairy Science* 83, 1402–1411.
17. Stallings CC y McGilliard ML. 1984. Lead factors for total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 67, 902–907.
18. Wood PDP. 1967. Algebraic models of the lactation curve in cattle. *Nature* 216, 164–165.