



Mejoramiento genético del ganado lechero el contexto global y local

Bernardo Vargas Leitón, Ph.D.
Escuela de Medicina Veterinaria
Universidad Nacional

La producción lechera es, sin duda alguna, una de las actividades agrícolas más dinámicas y con mayor crecimiento a nivel mundial. Desde mediados del siglo pasado hemos sido testigos de importantes cambios que han venido a modernizar la forma de producir leche. Estos cambios han sucedido tanto a nivel de la vaca productora de leche como en su relación con el entorno.

El mejoramiento genético por medio de la selección es una de las áreas en las que se han dado grandes avances en un tiempo relativamente corto. El presente artículo tiene por objetivo revisar brevemente algunos de los avances más importantes que han sucedido durante las últimas décadas en el campo del mejoramiento genético del ganado lechero. Paralelamente se analiza el desarrollo que ha seguido la ganadería lechera en nuestro país y los esfuerzos que se han realizado para contribuir a su mejoramiento genético.

Evolución histórica del mejoramiento genético

El mejoramiento genético por medio de selección se remonta a los tiempos antiguos, desde que se iniciaron los procesos de domesticación del ganado vacuno hace ya casi 10 000 años. Existe evidencia de que los romanos ya realizaban selección de sus animales para diferentes propósitos hace más de 2000 años. La selección en sus inicios era un proceso puramente intuitivo, basado principalmente en la observación y la experimentación empírica. De esta manera fue que nacieron muchas de las razas que se conocen actualmente. La raza Holstein, por ejemplo, se originó en Europa hace aproximadamente 2000 años, a partir de cruces entre ganado negro de las tribus de Batavia con ganado blanco de la tribus de Frisia (Holstein Association USA, 2012).

Esta forma empírica de mejorar el ganado se mantuvo prácticamente invariable hasta la época contemporánea. No fue sino hasta finales del siglo XVIII que empezaron a surgir las primeras asociaciones de criadores de raza. La Asociación Holstein (USA), por ejemplo, se fundó en el año 1872 (Holstein Association USA, 2012). El objetivo principal de estas asociaciones ha sido el mejoramiento y la promoción de las distintas razas, y para ello se instauraron los primeros registros de pedigrí y los llamados "Libros de Raza". Esto representó un importante avance en el mejoramiento genético pues los registros genealógicos certificados son indispensables para el mejoramiento de una raza. Aproximadamente en esa misma época, en el año 1866, Mendel postulaba las reglas básicas que determinan la transmisión de las características por herencia, reglas que luego sentarían las bases

de la genética moderna y del mejoramiento genético como se conoce hoy en día.

En Costa Rica el desarrollo del ganado lechero y vacuno en general es relativamente reciente. Los primeros ganados fueron traídos a estas tierras a finales del siglo XVI, siendo ganado de tipo *Bos taurus*, originario de la península ibérica (Quirós, 2006). En la época contemporánea, las primeras importaciones de ganado, procedentes de Inglaterra, fueron de las razas Devonshire y Durham (Shorthorn), a mediados del Siglo XVIII. El éxito obtenido en estos primeros mestizajes dio pie a posteriores importaciones de ganado de diferentes razas. Fue así como la primera importación de ganado Holstein y Jersey sucedió en el año 1880 (Vargas Coto, 1950). A partir de estas importaciones se ha venido dando una sustitución paulatina de los ganados criollos por razas mejoradas *Bos taurus* o *Bos indicus*, de tal manera que en la actualidad es muy poco lo que queda del denominado ganado criollo.

En términos organizativos, los avances en mejoramiento genético en Costa Rica son todavía más recientes. El primer registro genealógico de ganado vacuno se instauró en 1946, el cual se ocupaba de inscribir animales de diversas razas. La Asociación de Criadores de Ganado Holstein se fundó hasta 1978 y pasó a encargarse de la inscripción de animales en el registro genealógico y a ofrecer los servicios de clasificación lineal (MAG, 1978).

Avances en las tecnologías reproductivas y pruebas de progenie

Desde mediados del siglo pasado el uso de las tecnologías reproductivas ha contribuido notablemente al mejoramiento genético del ganado lechero. Entre estas tecnologías la que mayor impacto ha tenido a nivel mundial es sin duda la Inseminación Artificial (IA) (Foote 2002). Los primeros registros que se tienen del uso de esta tecnología en vacas lecheras provienen de Rusia en el año de 1931, donde se reportó la inseminación con semen fresco de 19 800 vacas. Sin embargo fue hasta la década de los 50, gracias al desarrollo de métodos eficientes de preservación del semen y de aplicación de la técnica de la IA, que se logró su difusión exitosa hacia otras regiones a nivel mundial.

Con el perfeccionamiento de la IA las posibilidades de comercialización y difusión de material genético crecieron exponencialmente. Surgieron las Cooperativas de Mejoramiento y posteriormente los primeros programas de Prue-





ba de Progenie (Figura 1). Mediante estas pruebas se hizo posible evaluar el potencial genético de diferentes sementales con base en el rendimiento de un elevado número de sus hijas. Esto requirió del desarrollo complementario de programas de control lechero, necesarios para monitorear y certificar la producción de las hijas de los sementales evaluados. La IA en conjunto con los programas de prueba de progenie hicieron posible acelerar marcadamente el progreso genético debido a que la selección se pudo realizar dentro de poblaciones cada vez más grandes, maximizán-

dose la intensidad de selección y la confiabilidad de las evaluaciones. En USA, la producción de leche por lactancia de la raza Holstein se duplicó de 6000 a 12000 kg en apenas 50 años (Figura 2), lo que significa un incremento de 131 kg por lactancia por año. La IA hoy día es práctica generalizada en los países de alta tradición lechera. Un toro exitoso, por ejemplo Elevation, ha producido más de 80 000 hijas, 2.3 millones de nietas y 6.5 millones de de bisnietas a nivel mundial (AIPL-USDA, 2012).

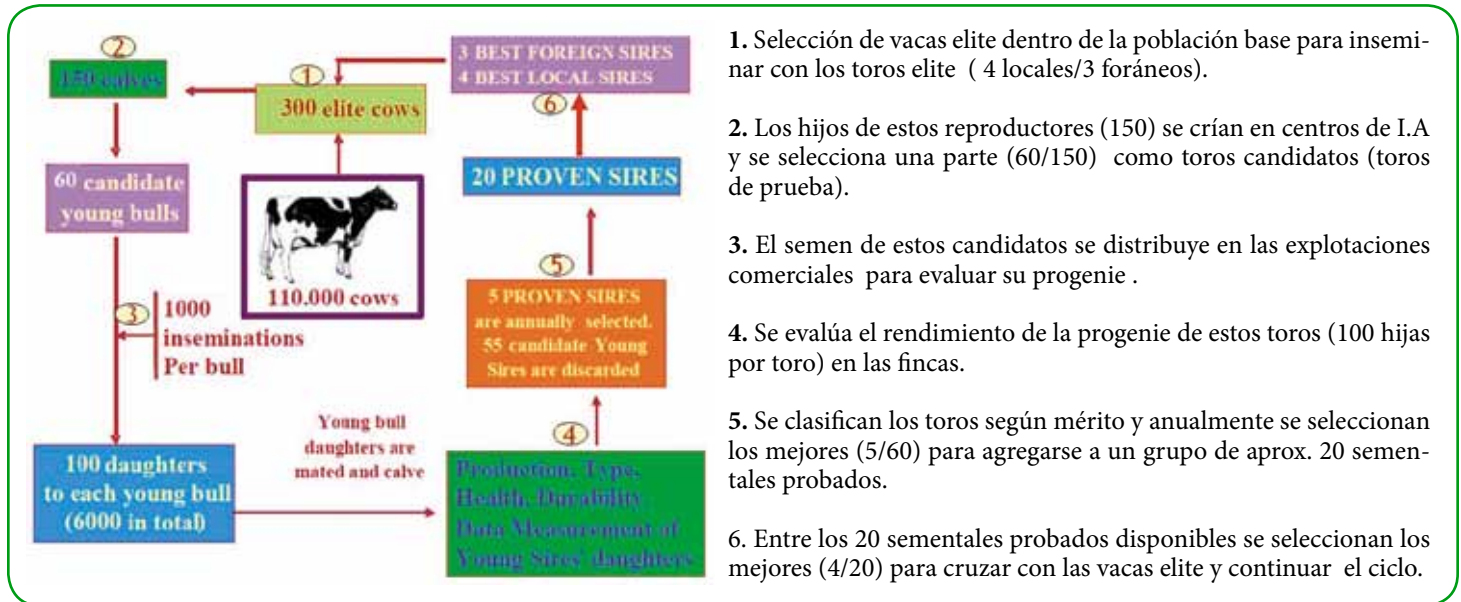


Figura 1. Esquema de un programa típico de Prueba de Progenie para ganado lechero (Fuente: Modificado de Israeli Cattle Breeder’s Association ICBA, 2006)

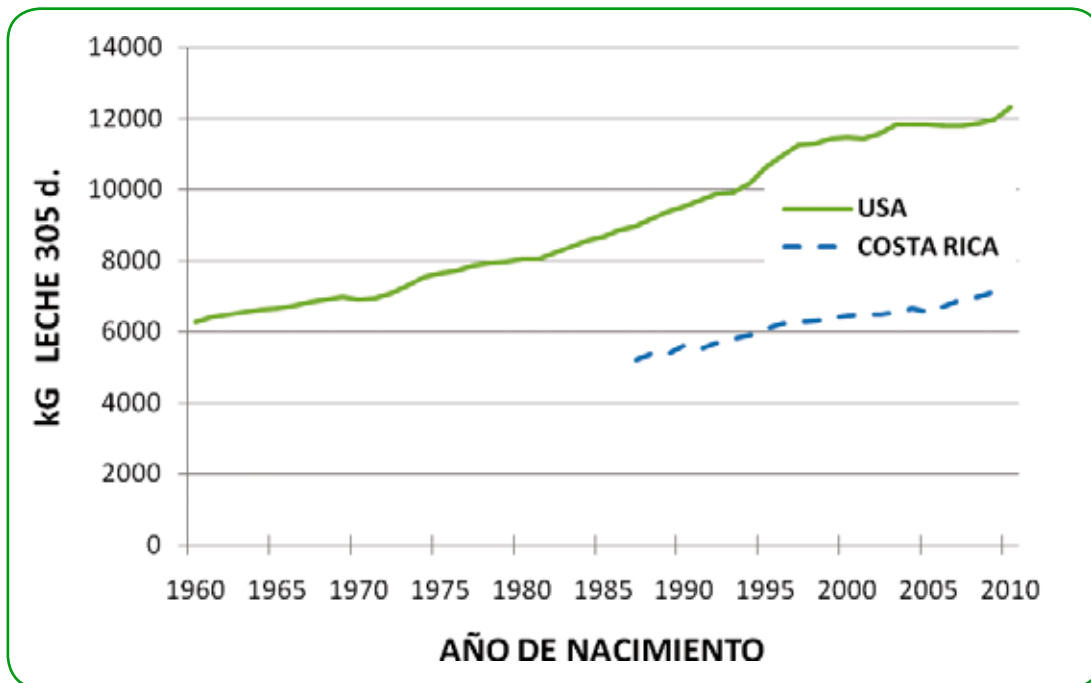


Figura 2. Tendencia en producción de leche por lactancia según año de nacimiento para vacas de la raza Holstein en USA vs. Costa Rica. Fuentes: AIPL-USDA (2012) y EG-CRC (2012).



En Costa Rica la IA está disponible desde 1946 con el establecimiento del Servicio de Inseminación Artificial y la Estación Experimental El Alto (MAG, 1949). Poco tiempo después, a inicios de 1949, se creó el Programa de Prueba y Mejoramiento de Hatos Lecheros, con el objetivo de “brindar al ganadero información precisa de la calidad y cantidad de leche producida por cada una de las vacas de su hato, permitiendo además seleccionar las mejores productoras, establecer un programa de cría y adaptar la alimentación, de acuerdo a la producción del animal” (MAG, 1949).

Algunos datos sobre la evolución de este programa en nuestro país se muestran en el cuadro 1. El programa llegó a

tener cierto auge e incluso se llegaron a crear varios núcleos de inseminación en distintas zonas del país. Sin embargo su crecimiento se vio limitado por la falta de recursos, por lo que su impacto fue moderado.

Desde su entrada al país, la IA se ha difundido ampliamente en nuestro país, sobre todo entre los productores lecheros. Sin embargo, existe todavía una considerable proporción del hato nacional que utiliza la monta natural, en muchos casos con toros de bajo potencial genético. También es común en algunas fincas utilizar toros de monta natural para servir las novillas.

Cuadro 1. Evolución del Programa de Prueba y Mejoramiento de Hatos Lecheros y del servicio de Inseminación Artificial en Costa Rica.

	1949	1958	1968	1978	1986
Hatos participantes	13	36	40	29	21
Vacas monitoreadas	188	2531	2847	1470	1482
Servicios de IA efectuados	578	7194	7157	7907	9793
Muestras de leche analizadas	1482	19138	34164	16676	16122

Fuente: Informes anuales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Años: 1949, 1958, 1968, 1978, 1986)

Además de la IA, otras tecnologías reproductivas más recientes, tales como la Fertilización in Vitro (FIV), la Transferencia de Embriones (TE), el Sexaje de Semen (SS) o incluso la clonación, también han venido a contribuir al avance genético del hato lechero. Mediante la FIV y la TE se ha hecho posible obtener múltiples crías a partir de una sola hembra lo que permite hacer un mejor aprovechamiento del potencial genético de vacas excepcionales. Actualmente, la mayoría de los toros probados de IA son obtenidos por medio de TE. El SS por su parte, permite maximizar la proporción de hembras obtenidas mediante inseminación, lo que viene a incrementar la eficiencia reproductiva del hato y acelerar el avance genético. Sin embargo, esta técnica todavía tiene algunas limitaciones por superar relacionadas principalmente con el tiempo requerido para el procesamiento del semen, lo que ha impedido su uso a una mayor escala. El clonaje por su parte ha tenido un impacto menor en los programas de mejoramiento, debido a consideraciones éticas que han limitado su desarrollo a nivel global. En nuestro país, si bien estas tecnologías están disponibles desde hace ya bastantes años, su uso todavía no está muy difundido. El costo, la falta de adecuada infraestructura y la baja eficiencia con que muchas veces se practican hacen que su impacto a nivel poblacional haya sido reducido.

La introducción de técnicas como FIV y TE hicieron posible también la aparición de esquemas de mejoramiento basados en núcleos de selección. En estos esquemas la selección y el mejoramiento se llevan a cabo dentro de hatos núcleo donde se realiza la selección con uso intensivo de las tecnologías reproductivas. Estos núcleos pueden pertenecer a cooperativas o iniciativas privadas. Los productores comerciales obtienen el germoplasma de estos núcleos y lo utilizan en sus explotaciones sin necesidad de tener que realizar selección ellos mismos. El uso de núcleos de selección presenta la ventaja de que se puede realizar un uso más eficiente y controlado de las técnicas de FIV y TE. También permite un mayor control de variables de tipo sanitario.

Las técnicas reproductivas han sido importantes en el desarrollo de la producción lechera, pero por sí solas no garantizan el mejoramiento genético. Un fenómeno que se ha venido dando en nuestro país es el uso indiscriminado de semen procedente de muy diversos países y de múltiples razas, siendo utilizado muchas veces sin planificación alguna en ambientes y sistemas de explotación completamente distintos al país de origen. Esto hace que los resultados obtenidos muchas veces no sean los esperados. El uso de genética especializada requiere de planificación y de inversiones paralelas en alimentación y en manejo, que muchas veces no están disponibles a nivel de campo.

Avances en el campo de la genética molecular

Hoy en día, los mayores avances en mejoramiento genético están sucediendo en el campo de la Genómica. Hasta hace pocos años el potencial genético de un toro joven solo se podía predecir con base en el promedio del comportamiento de sus padres. Estas estimaciones eran de baja confiabilidad, alrededor de 35%, por lo que el riesgo de utilizar estos toros era alto. Para contar con un estimado más preciso del verdadero valor del toro se requería esperar al menos 5 años hasta contar con los datos de su progenie.

Con los avances logrados a finales del siglo pasado y principios del actual en la secuenciación del genoma de distintas especies ha sido posible incorporar paulatinamente el análisis genómico a los programas de mejoramiento genético. Inicialmente la investigación se orientó a la Selección Asistida por Marcadores (MAS), que consiste en identificar variantes genéticas (marcadores) localizadas en regiones específicas del genoma y que están asociadas con algunos rasgos de gran importancia económica. Esta metodología se ha utilizado, por ejemplo, para identificar variantes genéticas que juegan un papel muy importante en la composición química de la leche y que por lo tanto influyen en su rendimiento a nivel industrial. Este tipo de selección sin em-



bargo, ha tenido todavía un impacto moderado, por cuanto la mayoría de los rasgos de importancia para la industria lechera son poligénicos, es decir, están afectados por una gran cantidad de genes distribuidos a lo largo del genoma.

Más recientemente, la reducción en los costos de procesamiento y el avance en las técnicas de secuenciación de ADN, han hecho posible obtener perfiles genéticos sumamente detallados de un determinado animal desde el mismo momento del nacimiento. Estos perfiles se construyen analizando y caracterizando más de 50 000 variaciones genéticas simples, llamadas SNPs (polimorfismos de nucleótido simple), distribuidas uniformemente a lo largo de toda la cadena de ADN (Dekkers, 2012). De esta manera es posible contar con una especie de "radiografía genética" del individuo. Esta nueva tecnología se ha utilizado para analizar el ADN de toros que ya contaban con pruebas completas de progenie en el pasado, siendo posible asociar sus perfiles con los distintos rasgos que se seleccionan, identificando cuáles de ellos son más o menos favorables. En los toros jóvenes, además de contar con la información de rendimiento de sus padres, también se incorpora ahora la información aportada por los perfiles genéticos, permitiendo obtener los llamados Valores Genéticos Genómicos (VGG). Los VGG de un toro joven poseen una confiabilidad promedio cercana al 70%, lo que es equivalente a la que se obtenía anteriormente en una prueba de progenie para un toro con aproximadamente 30 hijas.

Aunque todavía los avances en este campo son relativamente incipientes, la genómica ha venido a revolucionar la forma en que se realiza el mejoramiento genético, ya que permite hacer selección sobre la base directa del código genético de un animal. Mediante su uso es posible casi duplicar la tasa del progreso genético, gracias a la reducción de los intervalos generacionales y el aumento en confiabilidad de las evaluaciones. También ha venido a hacer más eficiente la selección de rasgos de baja heredabilidad, tales como la fertilidad o rasgos relacionados con la salud (Dekkers, 2012). Cabe esperar también que, en un futuro cercano, los programas de prueba de progenie pierdan importancia y se vean considerablemente reducidos en tamaño, lo que significaría un descenso marcado en los costos de los programas de mejoramiento genético.

Avances en las metodologías de estimación de valores genéticos

Como ya se dijo anteriormente, la selección hasta hace poco tiempo era realizada principalmente en base a la observación de rasgos de conformación y la experimentación empírica. El avance logrado mediante estas metodologías era modesto debido a la baja intensidad de selección, por el reducido tamaño de las poblaciones, y a la falta de precisión o confiabilidad a la hora de estimar el potencial genético de un animal.

Desde hace varias décadas, los avances en las tecnologías reproductivas y las estructuras organizativas han dado pie a que se puedan realizar evaluaciones genéticas a gran escala. Esto ha traído una serie de complicaciones adicionales porque en las poblaciones grandes los sistemas de crianza e incluso las condiciones climáticas pueden variar ampliamente de un lugar a otro. Por otra parte, el volumen de información

que se genera en cada evaluación es enorme. Por lo anterior, se hace cada vez más difícil comparar de una manera justa los animales que se desean seleccionar. Se han tenido que desarrollar modelos estadísticos sofisticados combinados con herramientas informáticas potentes para la estimación de los valores genéticos. Desde hace 2 décadas la metodología que más se utiliza para la estimación de los valores genéticos en ganado lechero se denomina Modelo Animal (Wiggans *et al.*, 1988). Esta metodología permite estimar simultáneamente el potencial genético de machos y hembras en poblaciones de miles y hasta millones de animales que han sido criados en ambientes distintos y que inclusive pueden ser de distintos tipos raciales.

Los objetivos de selección en ganado lechero también han ido evolucionando con el paso del tiempo. Hace apenas 60 años la selección del ganado lechero era enfocada principalmente a rasgos de producción. Este tipo de selección incrementó los niveles de producción rápidamente en todas las principales razas lecheras pero tuvo consecuencias negativas en el rendimiento reproductivo y la longevidad de los animales. Por esta razón, los programas de mejoramiento se vieron en la necesidad de considerar también otro tipo de rasgos en las evaluaciones genéticas, tales como aspectos de conformación, longevidad, fertilidad o salud (Figura 3).

Otro cambio importante ha sido la implementación de Índices Económicos de Selección que expresan el potencial genético de un animal en términos económicos. Para esto es necesario asignar un valor económico a cada uno de los rasgos que se seleccionan y combinarlos en un solo índice agregado. Un ejemplo de este tipo de índices es el Mérito Neto (AIPL, 2012), mediante el cual se estima la superioridad esperada, en unidades económicas a lo largo de toda la vida productiva, del promedio de las hijas de un animal sobre el promedio de la población de referencia. El objetivo de estos índices es seleccionar animales con un desarrollo más equilibrado tanto de rasgos productivos como de rasgos funcionales.

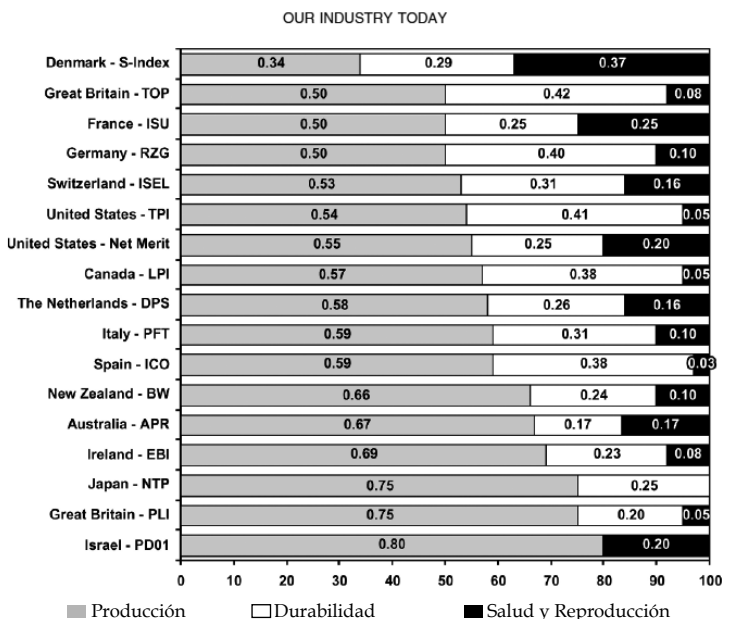


Figura 3. Importancia relativa (%) de rasgos de Producción, Durabilidad y Salud en índices de Selección utilizados en diversos países (Fuente: Miglior *et al.*, 2005)



Evaluación genética de ganado lechero en Costa Rica

En Costa Rica, antes de 1990, se realizaron algunos intentos por estimar valores genéticos para sementales de IA, algunos de ellos criados localmente, basándose en la información generada por el programa de mejoramiento de hatos lecheros. Sin embargo, la información que existe sobre los resultados obtenidos al respecto es escasa. Tampoco hay datos claros sobre las tendencias poblacionales anteriores a esos años.

A partir del año 1989, se inició en el país el Proyecto Salud del Hato mediante un convenio entre la Universidad Nacional y la Universidad de Utrecht (Pérez et al, 1989). Mediante este proyecto se creó un sistema de información basado en el programa de cómputo VAMPP (Noordhuizen y Buurman, 1984), que colabora con la generación, el almacenaje, el análisis, la interpretación y la disseminación de información. Hoy día este sistema de información es administrado por la Consultoría Regional en Informática para la Producción Animal Sostenible (CRIPAS).

Mediante este sistema ha sido posible hacer un monitoreo sistemático de un número elevado de fincas lecheras principalmente en aspectos productivos, reproductivos y sanitarios. La información generada ha permitido realizar múltiples estudios en áreas relacionadas con reproducción, nutrición, sanidad y genética. Desde entonces, ha sido posible medir tendencias poblacionales en diversas variables de gran importancia económica. Por ejemplo, durante los últimos 20 años, en la raza Holstein se observa un incremento sostenido de 78.7 kg por año en la producción por lactancia (Figura 1). Se han realizado también varios estudios que

analizan la importancia relativa de factores genéticos y ambientales sobre variables de producción (Vargas y Gamboa, 2008) o que estiman el valor económico de rasgos productivos y funcionales a nivel local (Vargas y Cuevas, 2009).

Desde el 2007 se ha venido utilizando la información acumulada para realizar evaluaciones genéticas bianuales a nivel local, haciendo públicos los resultados por medio de la web. La primera evaluación genética se llevó a cabo en el año 2008 y su evolución hasta el presente año se muestra en el cuadro 2.

La realización de este tipo de evaluaciones periódicas en nuestro país es importante desde varios puntos de vista. A nivel poblacional es indispensable contar con información precisa que ayude en la toma de decisiones a las instituciones involucradas en el mejoramiento y promoción de las razas locales. El monitoreo del rendimiento de toros de IA bajo condiciones locales de producción permite evaluar si los resultados obtenidos son satisfactorios. La identificación de vacas sobresalientes puede ser también de gran ayuda sobre todo si se desea impulsar programas de mejoramiento a nivel local, o para reconocer el excelente trabajo que realizan algunos criadores.

A nivel de hato la información que se genera puede ser de gran ayuda en la selección, tanto de vacas adultas como de hembras de reemplazo. También puede ser útil para la optimización del descarte y para una planificación más objetiva de los apareamientos de las vacas. También estos resultados permiten al productor monitorear las tendencias productivas dentro de su hato y compararse con otros hatos dentro de su misma zona o a nivel nacional.

Cuadro 2. Evolución del Programa de Evaluación Genética de Ganado Lechero de Costa Rica

	<u>Set-2008</u>	<u>Set-2009</u>	<u>Set-2010</u>	<u>Set-2011</u>	<u>Set-2012</u>
Razas	Holstein Jersey	Holstein Jersey	Holstein Jersey Guernsey Pardo Suizo	Holstein Jersey Guernsey Pardo Suizo	Holstein Jersey Guernsey Pardo Suizo
Rasgos	Kg Leche Kg Grasa Kg Proteína MER*	Kg Leche Kg Grasa Kg Proteína Días abiertos Vida Productiva MER	Kg Leche Kg Grasa Kg Proteína Días abiertos Vida Productiva MER	Kg Leche Kg Grasa Kg Proteína Días abiertos Vida Productiva MER	Kg Leche Kg Grasa Kg Proteína Días abiertos Vida Productiva Cél. Somáticas MER
Fincas	601	620	644	673	806
Vacas	69 294	79 562	114 393	124 953	136 239
Partos	433 148	469 816	676 500	804 600	874 773
Lactancias	197 252	213 950	308 072	338 753	369 142
Lactancias (Holstein)	120 124	129 744	139 920	150 834	161 159
Leche (diaria)	3 814 031	4 062 946	5 554 101	6 334 336	6 839 973
Lactancias (grasa)	20 662	22 179	26 730	29 301	31 774
Lactancias (proteína)	15 344	16 845	20 667	23 323	25 641
Lactancias(cél. somát.)	-	-	-	-	27 181
Toros IA (mín. 10 hijas)	764	809	996	1 041	1 044
Toros Monta Natural	10 988	11 931	15 540	16 737	18 151

*MER Mérito Económico Relativo. Índice económico compuesto a partir de todos los rasgos seleccionados, ponderados por su valor económico estimado a nivel local.



Consideraciones Finales

El mejoramiento genético del ganado lechero es hoy en día una actividad altamente tecnificada que siempre se encuentra a la vanguardia dentro del sector productivo agrícola. En nuestro país, algunas decisiones acertadas que se tomaron en el pasado, han hecho que contemos actualmente con un hato de calidad genética reconocida dentro de la región. Sin embargo, existe sin duda un amplio margen para mejorar, tanto en el campo de la genética como en las demás áreas necesarias para una producción eficiente.

El registro, análisis e interpretación de variables de rendimiento a nivel de cada vaca es una de las claves para incrementar los niveles de eficiencia de las fincas lecheras. Si bien se ha avanzado en el registro de variables reproductivas a nivel

individual, el registro de producción de leche solo se realiza en 42% de las lactancias y su composición y calidad se registran en menos del 10%. Considerando que estos estimados solo incluyen a los hatos que poseen VAMPP la situación en la población completa es todavía mucho peor. Esto denota que en nuestro país no existe todavía una práctica generalizada de registro individual de producción y calidad de leche.

Debido a que nuestra población lechera es relativamente pequeña, las principales oportunidades en el campo del mejoramiento genético a nivel poblacional residen todavía en un uso adecuado y planificado de la IA, combinado con el monitoreo y análisis continuo mediante el reforzamiento de los Sistemas de Información que ya existen en el país. Esto es algo que se debe promover tanto por las asociaciones como por las cooperativas involucradas.

COMO PARTICIPAR EN LAS EVALUACIONES GENETICAS BIANUALES?

1. Debe tener información de su finca registrada en VAMPP
Mínimo: Registros reproductivos y productivos (leche)
Preferible: Registros de composición y calidad de leche (a nivel individual)
Frecuencia de toma de registros: Al menos 1 vez por mes
Razas incluidas (a Set. 2012): Holstein, Jersey, Guernsey, P. Suizo, cruces HXJ, HXPS, JXPS
 2. Actualizar su información en la Base Nacional antes de las fechas límite
Fechas Límite: Primera Evaluación: 15 DE FEBRERO Segunda Evaluación: 15 DE AGOSTO
Formas de envío: Enviar respaldos VAMPP antes de la fecha límite de cada evaluación a dirección: respaldo@vampp-cr.com. También puede utilizar la opción de envío de datos en línea desde programa VAMPP (solo usuarios de versión 3.0).
 3. Los resultados son publicados en la página web www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen.
Primera evaluación: 15 Marzo / Segunda Evaluación: 15 Setiembre. Se incluyen:
Tendencias poblacionales (público)
Índices de toros de inseminación (público)
Índices de vacas élite (público)
Índices comparativos de hatos por raza y zona de vida (parcialmente público)
Índices de vacas de la finca (acceso restringido por código de finca y clave de acceso)
- Para información adicional contactar a: bernardo.vargas.leiton@una.cr tel 2277-3193

Referencias:

AIPL-USDA Animal Improvement Program Laboratory. 2012. Genetic and Phenotypic trend (1960 to the present). Disponible en: <http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm>

Dekkers, J. 2012. Application of Genomics Tools to Animal Breeding. *Current Genomics* 13:207-212.

EG-CRC Programa Evaluación Genética de Ganado Lechero Costa Rica. 2012. Tendencias poblacionales. Disponible en: <http://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/tenden.html>

Foot, R.H. 2002. The history of artificial insemination: Selected notes and notables. American Society of Animal Science. Disponible en: <http://www.asas.org/docs/publications/footehist.pdf?sfvrsn=0>

Holstein Association USA. 2012. The Holstein breed history. Disponible en: http://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html

ICBA Israel Cattle Breeder's Association. 2006. The Israeli Dairy Cattle Breeding Program. 65 pp.

Miglior, F.; Muir, B.L.; van Doormaal, B.J. 2005. Selection Indices in Holstein Cattle of Various Countries. *Journal of Dairy Science* 88:1255-1263.

M.A.G Ministerio de Agricultura y Ganadería (1949, 1958, 1968, 1978, 1986) Informes anuales. Disponibles en: http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/#HERMES_TABS_2_1.

Noordhuizen, J.P.T.M.; Buurman, J. 1984. Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP). The application of MUMPS for data processing. *Veterinary Quarterly* 6, 62-77.

Pérez, E; Baayen, M.T.; Capella, E.; Barkema, H. 1989. Development of a livestock information system for Costa Rica. In: H. Kuil; R. W. Palin; and J. E. Huhn (ED). *Livestock Production and Diseases in the Tropics*. Proc. IV Internl. Conf. Inst. Trop. Vet. Med. Utrecht; The Netherlands; pp. 221-224.

Quirós, E. 2006. Historia de la ganadería en Costa Rica. Disponible en: http://www.corfoga.org/images/public/documentos/pdf/Historia_Ganaderia_bovina.pdf.

Vargas Coto, J. 1950. El desarrollo de la ganadería en Costa Rica. Disponible en: <http://www.proleche.com/historicos.aspx>

Vargas, B.; Cuevas, M. 2009. Modelo estocástico para estimación de valores económicos de rasgos productivos y funcionales en ganado lechero. *Agrociencia*, 43:881-893.

Vargas, B.; Gamboa, G. 2008. Tendencias genéticas, interacción genotipo×ambiente y consanguinidad en poblaciones Holstein y Jersey de Costa Rica. *Técnica Pecuaria México*. 2008; 46(4):371-386.

Wiggans, G.R.; Misztal, I.; Van Vleck, L.D. 1988. Implementation of an animal model for genetic evaluation of dairy cattle in the United States. *Journal of Dairy Science*. 72 (Supp 2): 54-69.

