

HERRAMIENTAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN PARA MEJORAMIENTO GENÉTICO ANIMAL



Foto 1. ¿Cuál es la mejor raza a seleccionar para un ambiente determinado? Usualmente la raza a mejorar se elige antes de empezar un programa de selección, sin embargo es importante reevaluar si generará mayores dividendos el sustituirla por otra con mayores atributos para un ambiente determinado.

Jaime Piñeira V.

Biólogo Marino, Ph.D.
jpineira@inia.cl

José Luis Riveros F.

Médico Veterinario, Ph.D.

Ricardo Felmer D.

Bioquímico, Ph.D.

INIA Carillanca

El mejoramiento genético de la masa ganadera constituye una de las prioridades para el sector agropecuario, lo que se hizo evidente en el año 2007 con la creación del Consejo Nacional de Mejoramiento Genético (CONAMEG) por parte del Ministerio de Agricultura. El CONAMEG tiene como objetivo contribuir en la formulación, implementación y seguimiento de políticas para el desarrollo de un plan de mejoramiento genético nacional en especies bovinas y ovinas de carne. El presente artículo apunta a clarificar algunos conceptos básicos de un programa de mejoramiento genético animal, sus etapas mínimas y las herramientas facilitadoras para su implementación y propagación. Estas consideraciones son importantes pues, aunque el programa aún no se encuentra en ejecución, sí se están dando pasos en ese sentido, tales como la licitación de

INDAP destinada a contratar los servicios de "apoyo y fortalecimiento de la competitividad de la agricultura familiar campesina en los rubros bovino y ovino considerando el desarrollo de un programa de mejoramiento genético para ambos rubros".

Orígenes del mejoramiento genético animal

No existe acuerdo respecto de cuáles fueron los primeros animales domesticados. Según la literatura, pertenecerían a las familias *Canidae* (perros), *Bovidae* (bovinos) y *Caprinae* (cabras). Hace unos 6.000 a 10.000 años atrás, basado en su experiencia, el hombre primitivo dio inicio a un proceso continuo de selección desde un punto de vista productivo y conductual, eligiendo para su reproducción a aquellos ejemplares que le pare-

cían más adecuados. Este procedimiento era lo más indicado de acuerdo al conocimiento de la época, ya que los ganaderos primitivos usaban la única herramienta disponible de mejoramiento de sus animales: la selección fenotípica, o de los rasgos más beneficiosos. Algunos criadores mantienen hasta hoy esta forma de enfrentar el mejoramiento genético. En principio, no se trata de un error, sino por el contrario: es lo que los genetistas modernos denominan selección de masa (CONAMEG, 2007).

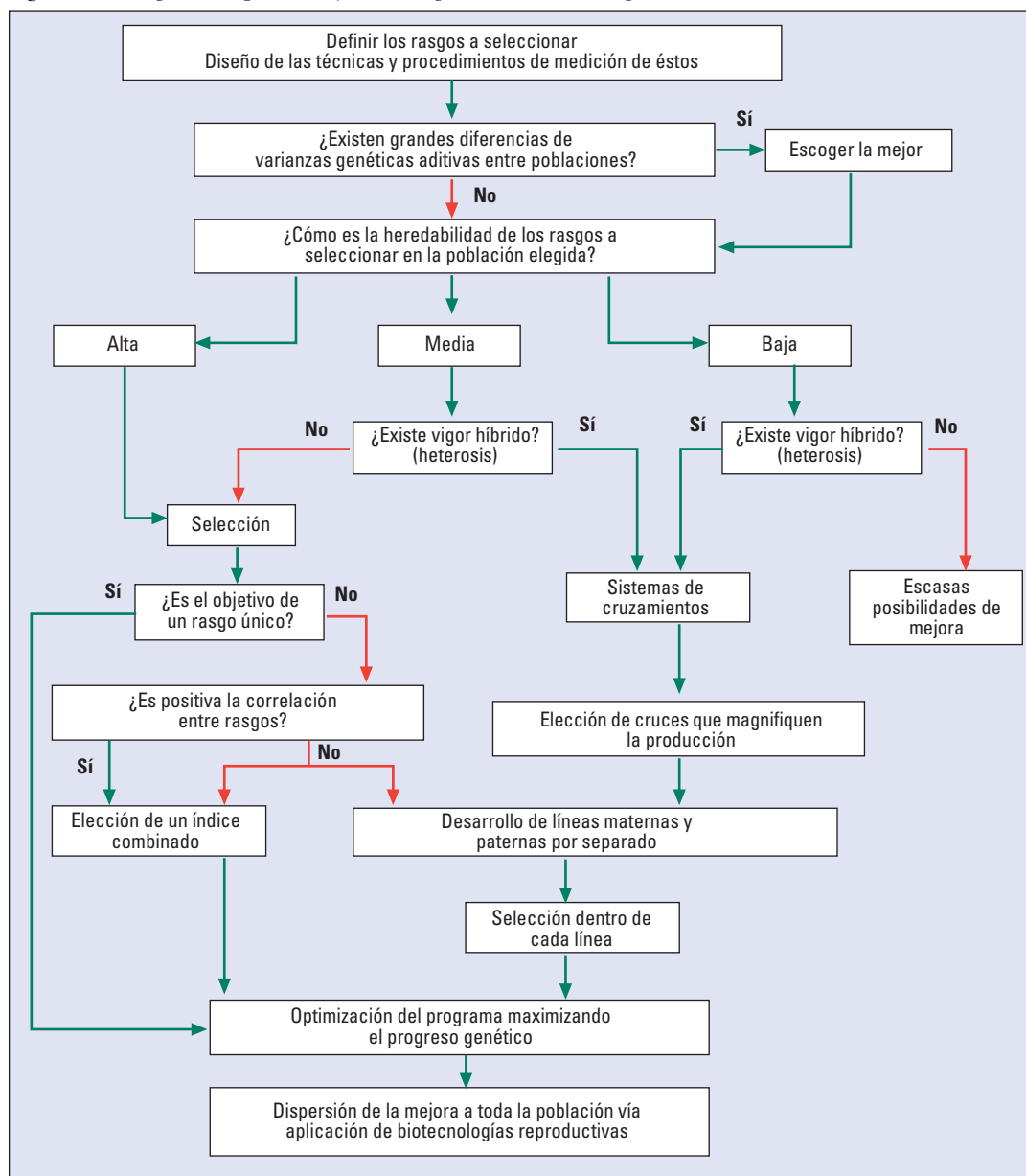
Definición de mejoramiento genético

Actualmente, "mejoramiento genético" puede ser definido como el uso de herramientas biológicas y matemáticas tendientes a aumentar la frecuencia de aquellos genes relacionados con caracteres que consideremos favorables en una población de animales domésticos (Montaldo, 1998). Las experiencias de distintos países han permitido concluir que los pasos de un plan de mejoramiento genético animal por lo general resultan similares en cualquier especie, independientemente del lugar donde se desarrolle y del sistema de producción (Buxadé, 1995).

Cunnigham (1974) explica el proceso a través de un flujograma de etapas elementales (figura 1). La primera fase consiste en la definición de los rasgos a seleccionar (objetivo del mejoramiento), los que deben tener algún valor productivo, ser heredables y de fácil medición bajo procedimientos estandarizados. En caso de que los rasgos seleccionados no cumplan alguno

Y SELECCIÓN DE REPRODUCTORES

Figura 1. Estrategias de un plan de mejoramiento genético animal. Cunningham, 1974.



racteres en especies domésticas.

La cuarta etapa consiste en definir la estrategia. Según el valor de la heredabilidad del rasgo, se aplica una de las dos herramientas de mejoramiento genético disponible: la selección o el cruzamiento. Si la heredabilidad es alta, un programa basado en la selección de ese carácter sería lo más sencillo y eficaz. Si el carácter tiene una heredabilidad media, es necesario evaluar la existencia de vigor híbrido (heterosis) en el cruzamiento y determinar si un sistema de cruzamiento sería apropiado. Si el programa se dirige a mejorar varios caracteres, se requiere estimar la relación existente entre ellos. Si no están relacionados o si existe una correlación positiva, se realiza un índice de selección combinado que incluye todos los caracteres, ponderados según su importancia económica. Sin embargo, si los caracteres estuvieran correlacionados negativamente entre sí, se postula el desarrollo de una o varias líneas paternas y su cruzamiento con una o varias líneas maternas.

La quinta etapa consiste en optimizar el programa de selección, maximizando el progreso genético por unidad de tiempo hacia el objetivo propuesto. Posteriormente, se debe diseñar una estrategia de dispersión del mejoramiento logrado a través de manejo reproductivo y/o de la aplicación de técnicas reproductivas como inseminación artificial y transferencia embrionaria. Por último, debe existir una evaluación constante de los resultados del programa, a través de estudios del progreso genético, con el objetivo de determinar si la estrate-

de los requisitos, se emplean caracteres correlacionados que sí los cumplan, denominados "criterios de selección".

La segunda etapa consiste en la elección de la raza a mejorar. Usualmente esta elección se realiza antes de comenzar el programa de selección, sin embargo es importante reevaluar si generará mayores dividendos el sustituir la raza

en cuestión por otra con mayores atributos para ese ambiente.

En la tercera etapa, es necesario un estudio sobre el grado de heredabilidad de los caracteres propuestos. Si no son heredables, un programa de mejoramiento basado en ellos será poco eficiente y deberán emplearse técnicas alternativas a la selección. Por ejemplo, la fertilidad es un carácter de

baja heredabilidad, que ha de mejorarse a través de manejo alimenticio y reproductivo. Por el contrario, si la heredabilidad tiene un valor medio o alto, se debe continuar con el programa de mejoramiento a través de un proceso de selección o de cruzamiento y posterior selección. En el cuadro 1 (página 45) se presentan las heredabilidades aproximadas de algunos ca-

BASES TÉCNICAS DE LA METODOLOGÍA BLUP

Henderson, entre los años 1973 y 1978 expuso las propiedades de la metodología BLUP (sigla en inglés que significa "mejor predicción lineal insesgada") y las hipótesis en que ésta se sustenta. El método posibilita la obtención de "predicciones" de los valores de cría con una variación mínima. Entre las hipótesis asumidas cabe destacar la necesidad de considerar un modelo genético y estadístico correcto, sumado al conocimiento de los parámetros genéticos de la población. Cuando se incluyen todas las relaciones de parentesco entre los animales, el método permite considerar los efectos de la deriva y de la selección, siempre que esta última esté contenida en los datos. Además, es necesario que la selección se haya basado en una función lineal invariante a la traslación (Gianola, Fernando e Im, 1988 y 1989).

En la práctica, por el desconocimiento de los parámetros genéticos verdaderos, la predicción BLUP se realiza en dos pasos: primero se estiman los componentes de la varianza, generalmente por medio del modelo RE-

ML (máxima verosimilitud restringida, sigla en inglés), y luego se utilizan las estimaciones para la predicción de los valores genéticos de las futuras descendencias, las cuales serán utilizadas en la generación de un ranking de reproductores. Los estimadores REML, además de ser suficientes, permiten obtener estimaciones insesgadas en presencia de algunas formas de selección (Gianola y Fernando, 1989). Esta metodología ha demostrado ser la más precisa en presencia de valores sin distribución normal, como sucede generalmente en condiciones de campo (Robinson, 1991). En la aplicación del modelo resulta determinante la confección de un buen diseño experimental, puesto que las estimaciones REML pueden sesgarse, por ejemplo cuando la población base no constituye una muestra aleatoria (Van der Werf y De Boer, 1990) o cuando se carece de la totalidad de la información relativa al proceso de selección (Gianola y Fernando, 1989). Varios autores han comparado el uso del BLUP frente a los métodos tradicionales. Trabajos realizados

en porcinos, utilizando datos de campo y simulados, ponen de manifiesto las ventajas del BLUP frente al uso de índices de selección. El BLUP es particularmente ventajoso en caracteres de baja heredabilidad, que se expresan en un único sexo, o cuando se comparan animales de distinta edad en ambientes diferentes. Sin embargo, a largo plazo y en relación al uso de índices de selección, la utilización del BLUP como método de selección, tiende a incrementar la consanguinidad y reducir la varianza genética aditiva (Wray, 1989). Para una correcta implementación del BLUP es necesario modelar matemáticamente la variación genética y ambiental, de forma que se ajuste de manera óptima a la realidad. Es necesario examinar adecuadamente todos los efectos que inciden sobre la media y varianza de los diferentes caracteres (Henderson, 1975).

En Chile se está empleando esta metodología en diversos sectores productivos, pero aún no se ha aplicado a bovinos.

estadísticas óptimas (Buxadé, C. 1995).

Los avances han sido rápidos en las últimas décadas. De la predicción del valor genético de un individuo basado únicamente en su fenotipo, se ha pasado a incorporar la información genealógica a través del índice de selección y, finalmente, a emplear toda la información (genealogía y datos) con la metodología "BLUP". En comparación con los índices de selección tradicionales, el BLUP permite una mejor corrección de los efectos ambientales sistemáticos, propiedad especialmente relevante para caracteres con gran influencia del medio, como la infiltración de grasa intramuscular o marmoreo (una explicación más técnica respecto de BLUP se encuentra en el recuadro).

Selección con herramientas moleculares

El mejoramiento basado en la identificación de los animales superiores a partir de mediciones fenotípicas, ha sido clave en el progreso genético de caracteres relacionados con producción. Distinto es el caso para características vinculadas con la calidad de la carne y composición de la canal, que, al medirse tardíamente en la vida del animal y requerir de técnicas destructivas para su análisis (por ejemplo, la composición de ácidos grasos de la carne), no se ajustan a este esquema de selección. Si bien siempre ha existido interés por mejorar los atributos mencionados mediante selección, los costos y el tiempo requerido para hacer las pruebas de proge- nie han impedido mayores progre-

gia es la adecuada (Buxadé, C. 1995).

El Programa Nacional de Mejoramiento Genético, una vez licitado, aunque siga otros modelos, dependiendo de la propuesta que resulte elegida, debería coincidir en muchos de los elementos señalados anteriormente.

Selección cuantitativa de reproductores

La selección de reproductores

en la generación siguiente es un paso fundamental. Para realizarla, se necesita utilizar el valor genético de los individuos, dejando para reposición aquellos animales cuya combinación de genes sea la mejor de su generación respecto del carácter de interés. El objetivo de esta selección es maximizar la ganancia genética mediante un correcto ordenamiento por mérito genético de los candidatos a convertirse en reproductores. El valor fenotípico de un individuo puede

descomponerse en una parte genética y otra ambiental, de manera que un mismo genotipo puede dar lugar a producciones diferentes según cuales sean las condiciones del entorno en las que se exprese. La disciplina del mejoramiento genético ha dedicado un esfuerzo continuo a la obtención, a partir de la información fenotípica de un individuo y la de sus parientes, de un predictor del valor genético aditivo que se independice de los efectos ambientales y posea propiedades

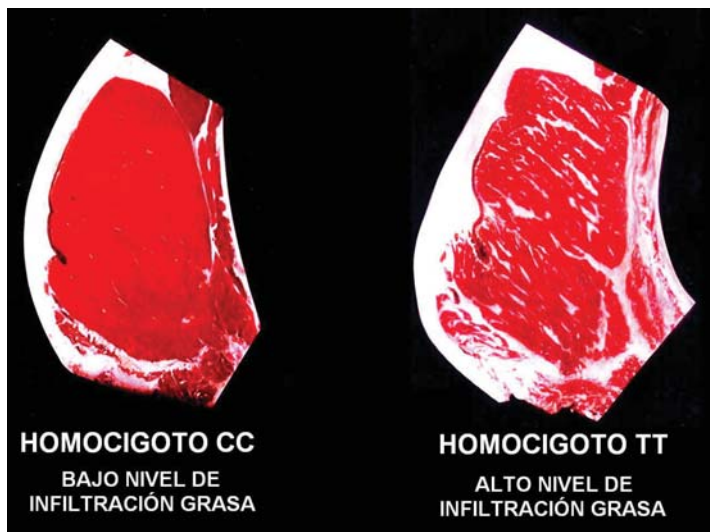


Foto 2. Una mutación en el gen de la tiroglobulina que sustituye la base nitrogenada citosina (C) por timina (T) puede generar dos genotipos homocigotos diferentes; el homocigoto CC, que predispone a los animales a infiltrar muy poca cantidad de grasa intramuscular (marmoreo), o el homocigoto TT, que predispone a los animales a infiltrar una gran cantidad de grasa.

sos. La situación cambió recientemente gracias al desarrollo de metodologías surgidas del avance de disciplinas como la biología molecular y la genómica. Hoy se puede inferir el mérito genético de un individuo no sólo a partir de su fenotipo y el de los animales emparentados, sino evaluando directamente los genes o marcadores genéticos asociados a las características de interés.

Algunos de los principales genes relacionados con la calidad de la canal identificados hasta la fecha son el gen de la tiroglobulina (proteína precursora de la tiroxina, involucrada en el metabolismo general y de los lípidos en particular; Thaller y otros, 2003; ver foto 2), los genes de leptina (Schenkel y otros, 2005) y su receptor (relacionados con la regulación del metabolismo basal, gasto energético, deposición

de grasa en el tejido adiposo e incremento de la grasa corporal), el gen de la diacilglicerol aciltransferasa (DGAT1, proteína relacionada con variaciones en la deposición de grasa intramuscular y el contenido de grasa de la leche Kaupé y otros, 2004), y los genes de la calpaína (CAPN1) y su receptor (relacionados con la ternura de la carne; Page y otros, 2004), entre otros.

El productor actual dispone de pruebas objetivas para identificar animales portadores de aquellos genes que garantizan, bajo ciertas condiciones ambientales, una alta probabilidad de manifestar una característica fenotípica determinada. Es así como la predisposición genética a un grado diferencial de marmoreo permitiría, dentro de un plan de mejoramiento genético, generar animales destinados a mercados demandantes de carne con distinto grado de infiltración, generando un producto de calidad superior.

En conclusión, la adecuada implementación de un programa de mejoramiento genético animal debe considerar la utilización de herramientas genéticas cuantitativas y moleculares para maximizar el impacto esperado. Del mismo modo, el progreso genético como consecuencia de este plan, sólo será posible mediante un adecuado manejo reproductivo del rebaño y/o la aplicación de biotecnologías reproductivas que permitan transferir el progreso genético alcanzado a un mayor número de productores en un menor tiempo.

Un programa de mejoramiento genético tiene como objetivo aumentar la frecuencia de ciertos genes (en realidad, alelos de genes). El aumento de la frecuencia

GLOSARIO

Genotipo. Conjunto de genes de un organismo.

Fenotipo. Manifestación externa observable de un genotipo.

Varianza aditiva. Varianza producida por la existencia de diferencias en los efectos fenotípicos medios entre alelos de un mismo gen.

Valor genético. Proporción en la que la manifestación de un carácter productivo (fenotípico) puede ser atribuible al genotipo del animal.

Deriva (génica). Cambios en las frecuencias alélicas debido a que los alelos que aparecen en la descendencia no constituyen una muestra representativa de los alelos presentes en la población parental.

Traslación. Movimiento en el plano que asocia a cada punto A un punto A' de forma que AA' es un vector de igual módulo dirección y sentido que v.

Cuadro 1. Valores aproximados de heredabilidad (h^2) de algunos caracteres en bovinos, porcinos y aves. Falconer y Mackay, 1996.

	% h^2
Bovinos	
Peso del adulto	65
% grasa en la leche	40
Producción de leche	35
Porcinos	
Espesor de la grasa subcutánea	70
Eficiencia de conversión del pienso	50
Ganancia diaria en peso	40
Número de hijos por parto	5
Aves	
Peso a las 32 semanas	55
Peso del huevo a las 32 semanas	50
Producción de huevos hasta las 72 semanas	50

de esos alelos en el tiempo se llama "progreso génico" y su ritmo de incremento dependerá de factores como la eficiencia de los criterios de selección, del modelo de cruzamiento empleado y del intervalo generacional de la especie con la que se trabaja. En general, un programa de mejoramiento genético podría comenzar a generar resultados a partir de la primera generación. En bovinos, una hembra puede ser encastada a los 18 meses, y gestar por 9 meses, por lo cual el lapso intergeneracional podría estimarse en al menos 30 meses, dado que la eficiencia reproductiva en vaquillas alcanza entre un 70 y un 80% en ganado de carne. 