

Sección D

Métodos de mejora genética en apoyo de una utilización sostenible

1 Introducción

Esta sección proporciona una visión general de los métodos de mejora genética para un uso sostenible de los recursos zoogenéticos. El primer capítulo describe el contexto de la mejora genética. Dado que los contextos social y económico se tratan en detalle en otras partes del Informe, aquí solo se describen brevemente. El contexto científico y tecnológico se cubre con mayor detalle. El segundo capítulo describe las estrategias de cría para la mejora genética, así como los elementos de un programa de cría directa. Dichos elementos comprenden la planificación, puesta en práctica y evaluación, y forman un proceso continuo e interactivo. Luego se revisan los programas de cría de las principales especies agropecuarias en sistemas de alto insumo. Ello incluye una descripción no solo de los objetivos reproductivos y de los caracteres que informan los criterios de selección, sino también la organización y la evolución del sector de cría ganadera. Se prosigue con una descripción de las estrategias de cría en sistemas de bajo insumo, y los utilizados en el contexto de la conservación de la raza. Dicha distinción es un tanto artificial, ya que las situaciones y las estrategias a veces se solapan. Por último, se sacan algunas conclusiones generales.

2 El contexto de la mejora genética

La mejora genética implica cambio. Para que un cambio implique una mejora, los efectos globales del cambio deben aportar beneficios positivos a

los propietarios de los animales en cuestión, o a la comunidad donde residen los propietarios. Además, para ser una mejora, los efectos del cambio deben aportar beneficios positivos tanto a corto como a largo plazo, o como mínimo, un beneficio a corto plazo no debe conducir a un perjuicio a largo plazo. Por lo tanto, es vital que la planificación de los programas de mejora genética tome seriamente en consideración el contexto social, económico y ambiental en el que se implantan. La mejor manera de conseguirlo es que dichos programas formen parte integral de los planes nacionales de desarrollo agropecuario, que deben formular amplios objetivos de desarrollo para cada entorno productivo.

2.1 Cambios de la demanda

Tradicionalmente, la cría ganadera solo ha sido de interés para un pequeño número de profesionales: empleados de empresas ganaderas, campesinos, y algunos zoólogos. Sin embargo, la producción alimentaria no la dirige ya el productor, sino el consumidor. La confianza del consumidor en la industria ganadera se ha erosionado en muchos países (Lamb, 2001). Varias crisis en años recientes han aumentado los temores sobre la calidad y la seguridad de los productos animales: la encefalopatía espongiforme bovina (EEB), la dioxina, y muy recientemente, la gripe aviaria altamente patógena (HPAI). El bienestar de los animales también forma parte de la percepción de consumidor respecto a la calidad del producto, especialmente en Europa (productos orgánicos y animales no estabulados). Al propio tiempo, la mayoría de consumidores están menos conectados con el mundo rural, y saben menos

PARTE 4

de ganadería. Existe una demanda creciente de productos «naturales», pero a menudo sin una comprensión clara de lo que ello implica.

2.2 Entornos productivos diversos

Los sistemas productivos sostenibles deben ajustarse a las condiciones físicas, sociales y de mercado. Para las organizaciones ganaderas ello suscita la pregunta de si deben diversificar sus objetivos de cría, o si deben criar animales que puedan ir bien en una amplia gama de entornos (entorno físico, sistema de gestión y condiciones de mercado). Hasta la fecha, sin embargo, poco se sabe de la genética subyacente a la adaptación fenotípica al medio.

2.3 Creciente reconocimiento de la importancia de la diversidad genética

La cría ganadera requiere variabilidad dentro y entre poblaciones si se desean mejorar los caracteres de interés. La diversidad genética es importante para cubrir las necesidades actuales, pero aún lo es más para las venideras. Por ejemplo, pasar de un sistema productivo de alto insumo a otro de bajo insumo va a favorecer a razas distintas y a características distintas dentro de las razas. De modo más general, la creciente importancia adscrita a factores como el bienestar animal, la protección medioambiental, la calidad distintiva de un producto, la salud humana y el cambio climático, exigirán que se incluya una gama más amplia de criterios en los programas reproductivos. Las razas locales suelen cumplir dichos criterios. Es posible, pues, que las estrategias más adecuadas para el manejo de dichas razas impliquen solo un cambio genético limitado. Por ejemplo, puede ser juicioso mantener inalterada la adaptación al entorno local y a la resistencia frente a las enfermedades – y mantener incluso el nivel de un carácter productivo, como el tamaño corporal o la producción láctea, si este se halla ya a su nivel óptimo, o cercano al mismo.

2.4 Avances científicos y tecnológicos

Novedades en los métodos de mejora genética

Genética cuantitativa

Un programa reproductivo se propone conseguir mejora genética como objetivo de cría mediante la selección de los animales que formarán la generación siguiente. El objetivo de cría refleja los caracteres que el ganadero quiere mejorar mediante selección. La tasa de mejora genética (ΔG) con respecto al objetivo de cría (y los caracteres subyacentes) depende de la variabilidad genética en la población, la precisión de los criterios de selección, la intensidad de la selección, y el intervalo entre generaciones.

El mantenimiento de la variación genética es un requisito para la mejora genética continua. La variación genética se pierde por deriva genética y se gana por mutación. Por tanto, el tamaño poblacional mínimo para mantener la variación genética está en función de la tasa de mutación (Hill, 2000). Los experimentos de selección en animales de laboratorio han demostrado que se puede mantener un progreso sustancial durante muchas generaciones, incluso en poblaciones con tamaños efectivos bastante por debajo de 100, pero que las respuestas aumentan con el tamaño poblacional (*ibid.*).

La pérdida de variación genética dentro de una raza se relaciona con la tasa de endogamia (ΔF). En ausencia de selección, ΔF está directamente relacionada con el número de machos y hembras reproductores. En las poblaciones sometidas a selección, este supuesto deja de ser válido, ya que los padres contribuyen a la siguiente generación de modo desigual. Recientemente se ha desarrollado una teoría general para predecir las tasas de endogamia en las poblaciones sujetas a selección (Woolliams *et al.*, 1999; Woolliams y Bijma, 2000). Dicho enfoque facilita una optimización determinista de la respuesta a corto y largo plazo de los programas de cría.

Inicialmente, la investigación sobre programas de cría se concentraba en la ganancia genética, y se prestaba poca atención a la endogamia. Ahora

se acepta que limitar la endogamia es un elemento importante de los programas reproductivos. Meuwissen (1997) desarrolló una herramienta de selección dinámica que maximiza la ganancia genética restringiendo al propio tiempo la tasa de endogamia. A partir de un conjunto dado de candidatos a la selección, el método permite escoger a un grupo de progenitores en los que maximiza el mérito genético mientras se limita el coeficiente medio de antepasados comunes. La implantación de este método conduce a un programa dinámico de cría, en el que el número de progenitores y el número de descendientes por progenitor puede variar, dependiendo de los candidatos disponibles en una generación concreta.

La precisión de la selección depende en gran medida de la calidad y cantidad de los registros de rendimiento disponibles. La mejora genética solo es posible si se registran tanto el rendimiento como el pedigrí. Sobre la base de dichas observaciones se predice el mérito genético de un individuo y los animales con el mérito predicho más alto pueden seleccionarse como progenitores.

Está bien establecido que el método de elección para la evaluación genética de los caracteres lineales (p. ej., producción de huevos y leche, tamaño corporal y eficiencia del consumo de pienso) es la mejor predicción lineal no sesgada basada en un modelo animal (BLUP-AM) (Simianer, 1994). El desarrollo de algoritmos y programas informáticos ha significado que hoy, en la mayoría de países y para la mayoría de especies, el BLUP-AM sea utilizado habitualmente por las empresas ganaderas o en programas de cría a nivel nacional. Las limitaciones asociadas con la aplicación de modelos simplistas de un carácter ha conducido al desarrollo de evaluaciones BLUP-AM basadas en modelos sofisticados (que incluyen por ejemplo, efectos maternos, interacciones entre manada x semental, o efectos de dominancia genética). Ello ha sido facilitado en gran medida por la creciente potencia de los ordenadores, y por los avances considerables en los métodos de cálculo. Actualmente, la tendencia es utilizar toda la información disponible, incluyendo registros

diarios de prueba única, registros de animales cruzados, y un amplio abanico geográfico (en diversos países). Existen dificultades significativas asociadas al uso de modelos cada vez más complejos, como son la falta de robustez (especialmente cuando el tamaño poblacional es limitado), así como problemas computacionales. El desafío actual es desarrollar herramientas para validar sistemáticamente los modelos utilizados.

El BLUP sólo es óptimo cuando se conocen los parámetros genéticos verdaderos. Se han desarrollado métodos para la estimación no sesgada de los componentes de la varianza (heterogénea) en grandes conjuntos de datos. La Probabilidad Máxima Restringida (REML) aplicada a modelos animales es el método de elección. Los modelos lineales no describen correctamente un buen número de caracteres importantes (p. ej., los caracteres basados en escalas puntuables y en supervivencia), de modo que se ha propuesto una amplia variedad de modelos mixtos no lineales: modelos umbral, modelos supervivencia, modelos basados en rangos, modelos de Poisson, etc. No obstante, las ventajas del uso de estos modelos no lineales están aún por demostrar.

La intensidad de selección refleja la proporción de animales que serán necesarios como progenitores de la generación siguiente. La capacidad reproductiva y las técnicas ejercen una importante influencia en el número de progenitores necesarios para producir la generación siguiente, y por lo tanto, en la tasa de mejora genética. En aves, una alta capacidad reproductiva significa que alrededor del 2 % y el 10 % de candidatos macho y hembra, respectivamente, se conservan como progenitores. En ganado bovino, la introducción de la inseminación artificial (IA) ha conllevado una enorme reducción en el número de sementales. En el ganado de leche y carne, los toros utilizados para IA y las vacas con un alto mérito genético constituyen los animales núcleo, y suponen menos del 1 % de toda la población.

El intervalo generacional es el tiempo medio entre dos generaciones. En la mayor parte de poblaciones, se puede distinguir un cierto

PARTE 4

número de clases de edad. La cantidad de información disponible difiere entre clases. En general, hay menos información sobre las clases jóvenes que sobre las clases mayores. Por consiguiente, la exactitud de las estimaciones del valor reproductivo es inferior en las generaciones jóvenes. No obstante, el valor medio del valor reproductivo estimado (EBV) de las clases jóvenes es superior al de las clases mayores debido a la mejora genética continua de la población. Se recomienda realizar la selección en todas las clases de edad para obtener el mayor diferencial de selección (James, 1972). La fracción de animales seleccionados de cada franja de edad depende de las diferencias en exactitud del EBV entre las clases de edad (Ducrocq y Quaas, 1988; Bijma *et al.*, 2001). El uso de tecnologías reproductivas puede aumentar la cantidad de información disponible sobre hermanos, aumentando por tanto la exactitud del EBV de las clases más jóvenes (van Arendonk y Bijma, 2003). Ello cambia la proporción de progenitores seleccionados a partir de las clases más jóvenes, influyendo por consiguiente en el intervalo generacional medio. Así pues, el intervalo generacional es fundamentalmente una consecuencia de la selección entre las clases de edad disponibles.

Genética molecular

La genética molecular del ganado doméstico ha sido objeto de intenso estudio en los últimos dos decenios. Dichos estudios comprenden la selección génica de caracteres mendelianos (básicamente patologías y defectos genéticos), selección asistida por marcadores e introgresión. Además, la información molecular se está utilizando cada vez más en los programas de conservación de razas y para mejorar nuestra comprensión del origen y domesticación del ganado.

Selección basada en genes. El conocimiento creciente del genoma animal aumenta las perspectivas de aplicación de esta tecnología y proporciona nuevas herramientas con las que seleccionar animales sanos. Las aplicaciones iniciales se concentran en caracteres mendelianos. En el ganado bovino, por ejemplo, se utiliza

habitualmente el diagnóstico mediante el ADN para eliminar trastornos genéticos como la deficiencia de adherencia leucocitaria bovina (BLAD), la deficiencia de la uridina-monofosfato sintetasa (DUMPS), y la malformación vertebral compleja (CVM), así como en la selección de caracteres como la kappa-caseína de la leche y la doble musculatura.

En cerdos, el gen mejor conocido que se ha utilizado hasta ahora en la cría comercial es el gen del «halotano». Se sabía que algunos cerdos no podían superar situaciones estresantes (p. ej., su transporte al matadero). Se descubrió que un gen (recesivo) –una mutación natural, llamada gen del «halotano»– era responsable del defecto. Mediante una prueba de ADN, que detecta si un cerdo presenta la «forma defectuosa» del gen, ha sido posible eliminar completamente este gen en varias razas (Fuji *et al.*, 1991).

La tembladera, enfermedad priónica del ovino, es la forma natural más común de la encefalopatía esponjiforme transmisible (TSE), un grupo de enfermedades que también incluyen la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob en humanos y la EEB en bovinos. La susceptibilidad genética a la tembladera está fuertemente modulada por variaciones alélicas en tres codones distintos en el gen PrP ovino (Hunter, 1997). La resistencia a la tembladera en programas de cría selectiva se ha planteado como opción atractiva para controlar esta enfermedad (Dawson *et al.*, 1998; Smits *et al.*, 2000). Esto puede conseguirse seleccionando el alelo asociado con el mayor grado de resistencia a la tembladera (el alelo ARR). Como se describe en la Parte 1 –Sección F:4, los programas de mejoramiento para eliminar la tembladera pueden constituir una amenaza para razas infrecuentes que tienen una baja frecuencia del genotipo resistente.

Selección asistida por marcadores. Los caracteres de mayor importancia económica en la producción animal son de naturaleza cuantitativa, y se ven afectados por un gran número de genes (loci), algunos de los cuales tienen efectos mayores, en tanto que la mayoría presentan efectos menores (Le Roy *et al.*, 1990; Andersson *et al.*, 1994). Si se

identifica un gen (locus) con un efecto mayor, y si se puede diseñar una prueba molecular, el genotipo de los animales en dicho locus puede utilizarse para la selección. En otros casos, puede identificarse una región cromosómica cercana al gen de interés y utilizarse como marcador.

Se han desarrollado modelos mixtos de herencia, que presuponen la identificación de uno o varios loci segregantes, así como un componente poligénico adicional. Cuando se conocen los genotipos de cada locus identificado, se pueden tratar como efectos fijos en técnicas estándar de modelo mixto (Kennedy *et al.*, 1992). Cuando solo se conocen los genotipos en los marcadores ligados, debe tenerse en cuenta la incertidumbre resultante de los haplotipos desconocidos y fenómenos recombinatorios (Fernando y Grossman, 1989).

Es de esperar una ganancia genética adicional si la información sobre genes con efectos medios o mayores se incluye en el proceso de evaluación genética. Este problema ha sido investigado en numerosos estudios de años recientes. Los resultados no siempre son comparables, dado que los criterios de selección difieren en los distintos estudios (es decir, desde un índice basado en información individual hasta los modelos animales), pero todos ellos indican que el conocimiento de los genotipos en los loci de caracteres cuantitativos por lo general mejoran la respuesta a corto plazo de la selección (Larzul *et al.*, 1997). Por el contrario, se han observado discrepancias en las respuestas a largo plazo de la selección – véase Larzul *et al.* (1997). En condiciones menos favorables, cuando solo se conocen los genotipos en los marcadores ligados, los resultados dependen en gran medida de las circunstancias concretas. Son de esperar ganancias importantes cuando existe desequilibrio de ligamiento a nivel poblacional (Lande y Thompson, 1990), y cuando los caracteres son difíciles de medir (p. ej., resistencia a las enfermedades), limitados a un género (p. ej., caracteres relacionados con la producción de leche o huevos), expresados tardíamente en la vida de los animales (p. ej., longevidad o persistencia del

tamaño de camada), o medidos tras el sacrificio (p. ej., caracteres de calidad cárnica). En otros casos, las ventajas de la selección asistida por marcador pueden ser cuestionables.

Los genes en el mismo o distintos loci interaccionan entre sí para producir un efecto fenotípico. Rara vez se sabe cómo esto ocurre. Cuando, mediante el uso de modelos estadísticos, se asigna un efecto aparente a un determinado gen, no se toman en consideración dichas interacciones. Ello explica, por lo menos parcialmente, por qué incluso cuando se identifican genes con efectos mayores, con su incorporación (o la de sus marcadores) en un programa de selección no siempre se obtienen los resultados deseados. Debido a dichas interacciones, se produce a menudo una aparente falta de coherencia entre diferentes estudios relacionados con el uso de marcadores genéticos (Rocha *et al.*, 1998). Para evaluar correctamente el efecto de un gen, debe considerarse el efecto medio sobre los posibles genotipos en la población a la que se aplicará la información (ponderada según las frecuencias).

Se aconseja la introgresión especialmente para mejorar la resistencia a las enfermedades en una población dada. Si existen marcadores para el gen o genes de resistencia (o sondas para el gen), se puede hacer uso de la selección asistida por marcadores para simplificar el proceso de introgresión. Dekkers y Hospital (2002) evalúan el uso de retrocruzamientos repetidos para introgresar un gen en una población. Si la raza no resistente se considera la raza receptora, y la raza que posee el gen de resistencia se considera la raza donante, se consigue la introgresión del gen deseable de la raza donante a la receptora mediante retrocruzamientos múltiples con la raza receptora, seguidos de una o más generaciones de entrecruzamiento. El objetivo de las generaciones retrocruzadas es generar individuos portadores de una copia del gen donante, pero que son similares a la raza receptora en el resto del genoma. El objetivo de la fase de entrecruzamiento es fijar el gen donante. La información sobre marcadores puede mejorar la

PARTE 4

efectividad de la fase de retrocruzamiento en las estrategias de introgresión génica identificando portadores del gen diana (selección en primer plano), y mejorando la recuperación del fondo genético del receptor (selección en segundo plano). Por lo general, resulta más factible y económicamente más sensato aparear, en sucesivas generaciones, hembras de raza pura de la raza receptora con machos entrecruzados portadores del gen deseado, que llevar a cabo el proceso inverso.

Si el gen que confiere resistencia es dominante, su introgresión en una población puede ser efectiva aunque no exista un marcador molecular para dicho gen. Si el gen de la resistencia es recesivo (o codominante), son necesarios los marcadores. En casos de resistencia poligénica, es improbable que la introgresión sin marcadores genéticos sea efectiva; para cuando la influencia genética de la raza donante tenga suficiente entidad para conferir altos niveles de resistencia, las características de la raza receptora probablemente se hayan perdido. De hecho, resultaría más sencillo crear una raza compuesta que introgresar numerosos genes en una raza receptora mediante retrocruzamiento, incluso cuando se dispone de marcadores. Hanotte *et al.* (2003) cartografiaron los QTL que afectan la tripanotolerancia en un cruce entre las razas de ganado bovino N'Dama («tolerante») y Boran («no tolerante»). Los resultados mostraron que en algunos de los presuntos QTL asociados con la tripanotolerancia, el alelo asociado a la tolerancia provenía del ganado no tolerante. Se concluyó que «la selección para la tripanotolerancia en un cruce F2 entre ganado N'Dama y Boran podía producir una raza sintética con niveles de tripanotolerancia mayores de los que se dan actualmente en las razas parentales».

Conceptualmente, se podría conseguir introgresión mediante selección asistida por marcadores incluso sin exposición al agente patógeno. No obstante, es recomendable comprobar la resistencia de los animales con el genotipo deseado.

La caracterización molecular de la diversidad genética es útil para la planificación de programas de conservación y para entender mejor el origen y la domesticación de las especies agropecuarias. Un mejor conocimiento de la variación genómica, en conjunción con el desarrollo de nuevos métodos de genética cuantitativa, puede ser el modo de vincular la información sobre marcadores con la variación funcional. Por ejemplo, se ha utilizado una combinación de métodos moleculares y análisis de pedigrí para estimar el grado de diversidad genética en poblaciones fundadoras de caballos de pura sangre (Cunningham *et al.*, 2001).

Avances en tecnologías reproductivas

La tecnología reproductiva ejerce un efecto directo sobre la tasa de mejora genética. Para un determinado tamaño poblacional, una tasa reproductiva más alta implica un menor número de animales reproductores, y, por tanto, una mayor intensidad de selección. Más descendencia por animal reproductor permite asimismo una estimación más exacta de los valores reproductivos. Otra ventaja del incremento de las tasas reproductivas es que se disemina la estirpe genética superior más rápidamente.

Dado que las tecnologías reproductivas se describen extensamente en otras partes del informe, este capítulo se centra solamente en el uso de la IA y de la ovulación múltiple y trasplante de embriones (OMTE) en los programas reproductivos. En cuanto a otras técnicas, nos limitaremos a una breve descripción.

Inseminación artificial. El uso de la IA conduce a una mayor intensidad de selección, a una mejor selección de machos basada en las pruebas de progenie, y a una estimación más precisa de valor reproductivo entre rebaños. Este último es consecuencia del intercambio de semen entre diferentes manadas nucleares, lo cual facilita el establecimiento de vínculos genéticos entre ellas. Las empresas ganaderas utilizan la IA en la mayoría de especies. Para especies como el ganado bovino, que tienen bajas tasas reproductivas, las pruebas de progenie basadas

en la IA son condición previa para calcular con precisión los caracteres de baja heredabilidad, como los caracteres funcionales. La IA permite una diseminación más rápida de la superioridad genética entre la población comercial. Del 60 % al 80 % de toda la IA se realiza en ganado bovino. Un macho con características superiores puede engendrar miles de descendientes en diferentes poblaciones de todo el mundo.

La IA exige pericia técnica tanto en el centro de IA como en la explotación ganadera, así como líneas de comunicación eficaces entre ambos. Sin embargo, en muchos países, la mayoría de productores son pequeños ganaderos, y la pericia e infraestructuras existentes pueden ser insuficientes para que los servicios de IA tengan éxito. El ganadero debe poder detectar el celo y disponer de medios para ponerse en contacto con el centro de distribución del semen, que a su vez debe poder servirlo en pocas horas. Para sistemas de producción extensiva, es un proceso intensivo en mano de obra. Por lo tanto, es improbable que se utilice la IA en sistemas de pastoreo extensivo para la producción de carne. Es igualmente difícil realizar la IA en ovinos, y el apareamiento natural usando machos superiores sigue siendo el modo dominante de difusión de la mejora genética.

El uso de la IA afecta la estructura de propiedad del sector ganadero de cría. Cuando se utiliza la IA, la propiedad de los animales reproductores se suele transferir a grandes empresas ganaderas, como cooperativas o empresas privadas. En el mundo desarrollado, en los últimos veinte años, los centros de IA se han encargado de identificar toros jóvenes mediante pruebas de progenie, y de comercializar el semen de sementales demostrados.

Ovulación múltiple y trasplante de embriones. Aumentar la tasa reproductiva de las hembras mediante OMTE es útil sobre todo en especies con una baja tasa reproductiva, como el ganado bovino. Las ventajas son una mayor intensidad de selección en las hembras, y una estimación más precisa de los valores reproductivos. Como el tamaño familiar es mayor, se dispone de más información sobre las hermanas de los animales.

Ello permite obtener valores reproductivos razonablemente fiables a una edad más temprana, sobre todo cuando los caracteres solo se registran en un sexo (hembra). En la práctica, esto significa que no hay necesidad de esperar a hacer la prueba de progenie para seleccionar los machos – se pueden seleccionar a una edad más temprana sobre la base de la información de sus hermanastras. Se gana mucho en intervalo generacional, compensando así la pérdida de exactitud de selección que resulta de sustituir la prueba de progenie por una prueba en hermanas. La capacidad de seleccionar a una edad joven, incluso a nivel de embriones, es la razón fundamental para aplicar la OMTE en la reproducción porcina. También se utiliza el trasplante de embriones para diseminar genes deseables de hembras superiores con un mínimo de riesgos sanitarios, dado que no se precisa transportar los animales.

Utilizar OMTE es caro y exige capacidades técnicas muy sofisticadas. El reto logístico estriba en disponer de un grupo de vacas receptoras sincronizadas en el momento de la transferencia de embriones. Esto sólo es factible en grandes rebaños nucleares centralizados. En muchos casos, puede ser mejor invertir los recursos en requisitos más básicos – registro de rendimiento y caracteres, extensión y diseminación. Ello es aún más cierto dado que la OMTE es menos eficiente que la IA en la mejora del progreso genético. En todos los casos, la introducción de IA y/o OMTE debe ser rentable y aceptada por los ganaderos locales.

La congelación de semen y embriones proporciona a las empresas ganaderas la oportunidad de crear bancos génicos como reserva de apoyo de la diversidad genética en los programas de cría. Además, la criopreservación de gametos y embriones facilita el intercambio internacional y el transporte de material genético en rumiantes, y es condición previa para el uso habitual de la IA y el TE a nivel mundial.

El clonaje (células somáticas) es una nueva tecnología que de momento no se utiliza comercialmente. Ello se debe en parte a razones técnicas y económicas, y en parte a la falta de una

PARTE 4

opinión pública favorable a este avance. El clonaje tiene aplicaciones potenciales en el ámbito de la conservación, puesto que otros tejidos son más fáciles de preservar que los embriones.

El sexaje de embriones o semen posibilita la producción de grandes números de animales de un sexo determinado. Por ejemplo, en el ganado bovino las preferencias respecto a una descendencia macho o hembra son obvias – hembras para producción lechera y machos para carne. Se han realizado muchos esfuerzos para desarrollar una tecnología fiable. Actualmente, es posible identificar embriones de ambos sexos con diversas metodologías. Sin embargo, con pocas excepciones, esta tecnología aún no ha sido utilizada ampliamente por criadores o ganaderos. También se ha intentado separar el esperma en base a sus características de determinación del sexo. Pero de momento se deberá avanzar más antes que esta tecnología se pueda aplicar a gran escala.

El uso de las técnicas reproductivas y de conservación antes mencionadas implica que hay una menor necesidad de transportar a los animales reproductores. Además, dichas tecnologías ofrecen la oportunidad de salvaguardar el estado sanitario de rebaños y manadas incluso cuando los embriones provienen de países con un estado sanitario radicalmente distinto.

2.5 Consideraciones económicas

Toda evaluación económica debe plantearse tanto la rentabilidad como los costos. Como la cría animal es un proceso a largo plazo, los beneficios de las decisiones de cría se materializarán muchos años después. Esto ocurre, por ejemplo, en el ganado de leche. Además, distintos costos y beneficios llegan en momentos distintos y con diferentes probabilidades, y determinadas consideraciones que pueden no ser importantes en procesos relativamente a corto plazo pueden llegar a ser cruciales a largo plazo.

Hasta la llegada de las biotecnologías reproductivas, los principales costos de los programas de cría eran la medición de caracteres y su registro, las pruebas de progenie

y el mantenimiento de la estirpe reproductiva. Aunque el objetivo principal de la mayoría de sistemas de registro es la cría, debe observarse que una vez disponible, dicha información es útil para otras decisiones de gestión ganadera, como el sacrificio selectivo y la producción futura.

La ganadería de cría en el mundo desarrollado cada vez se ha ido sofisticando y profesionalizando más, y por tanto, es cara. Las consideraciones económicas son las que dictan la mayoría si no todas las actividades relativas a la reproducción, y la teoría económica forma parte ya de este ámbito. Las bases de la evaluación económica son el beneficio, la eficiencia económica, o el retorno sobre la inversión. Cuando los objetivos de cría han sido desarrollados por y para (grupos de) ganaderos, se pone el acento en la maximización de beneficios. En países en desarrollo, los mercados son por lo general más locales, pero rigen los mismos mecanismos. Es, por tanto, aconsejable optar por la maximización de los beneficios, a menos que haya razones claras para desviarse de dicha estrategia.

Una consideración crucial es: ¿quién paga la mejora genética? Esta pregunta no es particularmente importante cuando los núcleos de cría, los multiplicadores y los rebaños/manadas comerciales están plenamente integrados. No obstante, en el resto de situaciones, cuando no existe la integración vertical, no es infrecuente que quienes invirtieron en actividades de cría no puedan recuperar adecuadamente su inversión. Este hecho suele justificar que el sector público se involucre en una o más facetas de la mejora genética.

En un sistema de mercado libre, las organizaciones ganaderas de cría deben adaptarse a las exigencias de sus consumidores – los productores comerciales, que normalmente solo están dispuestos a pagar reproductores mejorados o semen si ello aumenta sus beneficios. Sin embargo, es interesante observar que, aunque una tendencia en la cría no parezca tener una justificación económica, sigue vigente durante un tiempo considerable (Recuadro 80). En un sistema

Recuadro 80**Cambios del tamaño corporal del ganado bovino para carne en los Estados Unidos de América**

Hacia 1900, la inmensa mayoría de ganado bovino de engorde en los EEUU era Shorthorn, Hereford o Angus. El ganado de aquella época era bastante voluminoso. Eran frecuentes toros de 1 100 kg y vacas de 730 kg. El ganado se engordaba principalmente con hierba, y había cierto interés en producir ganado más joven y ligero al sacrificio. Se popularizó la tendencia a seleccionar ganado de osamenta menor con una mayor capacidad aparente de engorde. Gran parte de la selección se basaba en intentos de ganar concursos. La selección fue eficaz, y se consiguieron cambios importantes en la población bovina. Al cabo de unas cuantas generaciones (a finales de la década de 1920 y principios de la siguiente), el ganado probablemente tenía un tamaño más apropiado a las condiciones de producción en las que se criaba. Sin embargo, la selección prosiguió en la misma dirección, y hacia la década de 1950 el ganado de mayor prestigio era demasiado pequeño y propenso a la obesidad para ser rentable en cualquier programa comercial de cría.

A mediados de los años cincuenta se inició un cambio de envergadura en la industria norteamericana de bovino para engorde, con la construcción de grandes naves de engorde en los estados de las Grandes Praderas. Para que el ganado de dichas naves fuera rentable, tenía que crecer a un ritmo bastante alto durante un largo período de engorde (cuatro o cinco meses) sin engordar

demasiado. El ganado más pequeño, de engorde más rápido, que tan popular había sido, ya no era aceptable para la industria de la estabulación masiva. Se empezaron a popularizar razas de Europa continental, como la Charolais y otras, así como razas inglesas de carne, seleccionadas por su mayor tamaño y crecimiento. Desde mediados de la década de 1950 hasta finales de la siguiente, se seguía escogiendo ganado de mayor tamaño, siempre y cuando tuviera una conformación compacta. Sin embargo, ya a finales de la década de 1960, se primaba el ganado de tamaño mayor, aunque fuera más alto y tuviera una conformación muy distinta a la del ganado popular del período anterior. En pocos años, la selección se basaba en obtener ganado de mayor osamenta, incluso en las razas de origen europeo continental. Dicha selección fue también muy eficaz, y se llegaron a producir ejemplares extraordinariamente grandes.

Entre mediados y finales de la década de 1980, algunas de las grandes empresas ganaderas se dieron cuenta que se había ido demasiado lejos, y se empezó a abogar por la producción de animales de tamaño más moderado. En los últimos diez años, más ganaderos han reconocido que el tamaño intermedio es preferible a los extremos en cualquier dirección. Sin embargo, siguen siendo minoría, y en muchas explotaciones importantes se sigue criando ganado de tamaño desmesurado.

de subsidios gubernamentales, una parte o todo el costo de la mejora genética es pagado por el contribuyente. En este caso, los programas de cría deben someterse a escrutinio para garantizar que verdaderamente producen algunos beneficios sociales. Dichos beneficios pueden incluir, por ejemplo, la provisión de productos más seguros, más nutritivos o menos caros para el consumidor, o la reducción de los impactos medioambientales negativos de la producción agropecuaria.

3 Elementos de un programa reproductivo

Los elementos necesarios para un programa reproductivo dependen de la elección de la estrategia general de cría. Así pues, la primera decisión es cuál de las tres estrategias principales de mejora genética debe aplicarse: selección entre razas, selección dentro de razas o líneas, o cruzamientos (Simm, 1998).

- La selección entre razas, la opción más radical, consiste en sustituir una raza

PARTE 4

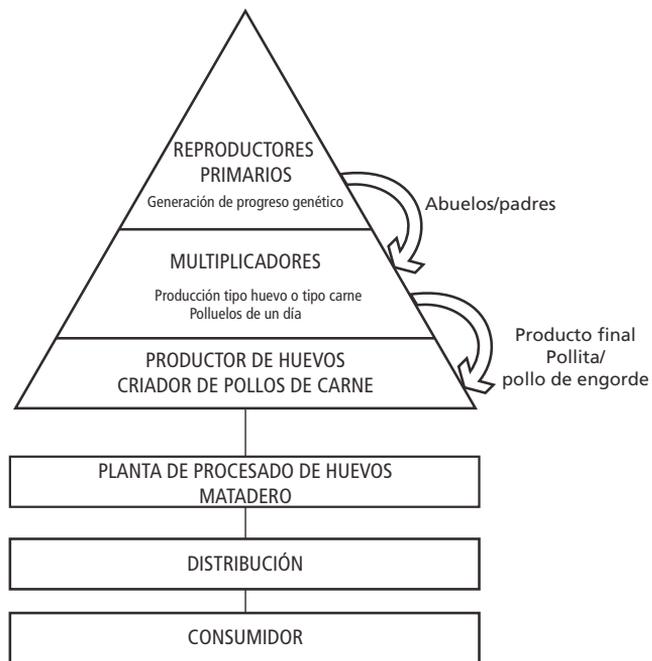
genéticamente inferior por una superior. Ello puede hacerse de inmediato (cuando, como en las aves, el costo no es prohibitivo), o gradualmente, por retrocruzamiento repetido con la raza superior (en animales grandes).

- El cruzamiento, el segundo método en cuanto a rapidez, se basa en la heterosis y la complementariedad entre las características de las razas. Los sistemas convencionales de cruzamiento (sistemas rotacionales y sistemas terminales basados en sementales), han sido ampliamente comentados (p. ej., Gregory y Cundiff, 1980). El apareamiento entre animales compuestos de reciente creación se ha sugerido como alternativa al cruzamiento (Dickerson, 1969; 1972).

- El tercer método, la selección intraracial, produce la mejora genética más lenta, especialmente si el intervalo generacional es largo. Ahora bien, esta mejora es permanente y acumulativa, cosa que no ocurre en los programas de cruzamiento.

La mejora genética gradual es la forma más sostenible de mejora, ya que da tiempo a las partes interesadas para adaptar el sistema de producción al cambio deseado. Cuando los caracteres de interés son numerosos, y/o algunos de ellos son antagónicos, se pueden crear varias líneas, y mantenerlas por selección intra-línea. A su vez, dichas líneas pueden cruzarse para producir animales comerciales. Esta es la estrategia utilizada en la cría de cerdos y aves.

FIGURA 48
Estructura de la industria avícola



Iniciar un programa de cría implica definir un objetivo reproductivo (Groen, 2000) y diseñar un plan que aporte avance genético en línea con dicho objetivo. En la práctica, implica gestionar personal y recursos así como aplicar los principios de la genética y la zootecnia (Falconer y Mackay, 1996). Cada aspecto del programa de cría incluye muchos procesos, individuos y en ocasiones, instituciones. El éxito depende de si se saben aprovechar y gestionar bien los recursos disponibles para conseguir los objetivos de las partes interesadas.

Las partes interesadas de un programa de reproducción son todos aquellos que se ven afectados, en mayor o menor medida, por su éxito. Esto incluye a los usuarios finales de los productos del programa (es decir, los ganaderos), a las empresas comerciales y a otros que de manera directa o indirecta invierten en el programa, ya sean ministerios gubernamentales, asociaciones de criadores, así como a los contratados para poner en marcha el programa. Se podría incluir también entre los interesados a los beneficiarios subsidiarios, como proveedores, distribuidores, y vendedores de subproductos del programa.

La mayoría de programas tiene una estructura piramidal (Simm, 1998), con un número variable de niveles según la sofisticación del programa. En la cúspide de la pirámide se halla el núcleo donde se concentra la selección y cría de los animales de pedigrí superior, la élite. En los niveles medios se produce la multiplicación de la estirpe. Ello es necesario cuando el número de animales en el núcleo es insuficiente para satisfacer la demanda de los ganaderos comerciales. El nivel inferior contiene las unidades comerciales donde se disemina el producto final. La estructura piramidal de la industria avícola se ilustra en la Figura 48.

Las actividades que constituyen un programa de cría se pueden resumir en ocho grandes pasos (Simm, 1998):

- elección del objetivo reproductivo;
- elección de los criterios de selección;
- diseño del programa de cría;

- registro de los animales;
- evaluación genética de los animales;
- selección y cría;
- monitorización del progreso; y
- diseminación de la mejora genética.

Estos pasos se describirán en los subcapítulos siguientes. No obstante, el lector debe ser consciente de que planificación, puesta en marcha y evaluación forman un proceso continuo – cada elemento debe abordarse de modo interactivo, y no paso a paso. Otro elemento crítico es la necesidad de documentar en detalle todas las áreas del programa reproductivo y su ejecución en el tiempo.

3.1 Objetivos reproductivos

El objetivo reproductivo es una lista de caracteres a mejorar genéticamente. Debe seguir la pauta de los objetivos nacionales de desarrollo agrícola, y ser apropiado para el sistema productivo para el cual se define, y para las razas adecuadas a dicho sistema productivo. Los objetivos de desarrollo agrícola de un país incluyen variables económicas tradicionalmente, pero deberían extenderse para incluir aspectos éticos y sociales del bienestar humano. Estos objetivos se usan para formular los objetivos reproductivos. Existen diversas herramientas para conseguirlo. La más habitual es la función beneficio. En teoría, definir una función beneficio es sencillo, especialmente en el caso de los programas de selección intrarraciales, ya que es una función lineal de los valores económicos relativos de los caracteres a mejorar. En la práctica, sin embargo, no es fácil obtener dichos valores económicos, en parte porque varían en el tiempo y en el espacio, y en parte debido a falta de tiempo, experiencia, conocimientos, recursos, etc. Por tanto, los ganaderos manipulan la dirección del cambio mediante prueba y error basándose en la demanda percibida del mercado y en las preferencias. Amer (2006) describe otras herramientas para formular objetivos reproductivos, como el modelo bio-económico y el modelo de flujo génico.

PARTE 4

La mejora genética se mide en relación a un determinado conjunto de caracteres, generalmente conocidos como «caracteres de importancia económica». En realidad, dichos caracteres y su importancia económica varían tan ampliamente como los programas reproductivos. Para muchas especies agropecuarias, los caracteres de importancia económica son aquellos que afectan a la productividad, longevidad, salud y capacidad reproductiva de los animales.

Para la mayoría de caracteres, el objetivo es una mejora continua, pero para otros caracteres, el objetivo es llegar a valores intermedios. Pharo y Pharo (2005) definen dichas alternativas, respectivamente, como cría en una «dirección» y para un «destino». Un ejemplo de este último es el peso de los huevos en gallinas ponedoras. El mercado valora los huevos dentro de una determinada gama de pesos – por ejemplo entre 55 y 70 gramos. Los huevos más pequeños son invendibles y para los mayores tampoco hay incentivo. Dado que el tamaño del huevo se correlaciona negativamente con el número de huevos, la resistencia de la cáscara e incubabilidad, seleccionar huevos más grandes no solo es un desperdicio de intensidad selectiva, sino que es también contraproducente. Otro ejemplo es el tamaño corporal. En animales para carne, el tamaño al sacrificio es un determinante importante de valor. El tamaño corporal tiene una repercusión mayor en las exigencias nutricionales, a través de su efecto en las necesidades de mantenimiento. Puede también afectar a la fertilidad. Esta última (fertilidad neta expresada como número de terneros u ovejas por camada al destete) es un determinante mayor de la eficiencia biológica y la rentabilidad. Como el tamaño corporal está asociado tanto a costos como a beneficios, resulta difícil determinar un valor óptimo, especialmente en sistemas de pastoreo, debido a la dificultad inherente a calcular adecuadamente la ingesta de forraje. Otra consideración es que la mayoría de mercados de carne discriminan negativamente a los animales que caen fuera de un rango deseado de peso por canal (o vivo). Por ejemplo, el mercado

europeo exige un peso mínimo por canal, que algunas razas no pueden alcanzar (p. ej., las razas Sanga de Namibia). Aunque el tamaño corporal actual de este ganado es óptimo con respecto a la eficiencia biológica, el ganado más voluminoso es más rentable.

La elección del objetivo reproductivo puede ser una actividad realizada una sola vez, o puede revisarse de vez en cuando. La decisión la toman los ganaderos, que recogen las reacciones de los distintos niveles de la pirámide reproductiva. En el caso de aves y cerdos, dicha decisión recae en la alta dirección de las empresas ganaderas (directivos de investigación y desarrollo en conjunción con directivos técnicos, de marketing o ventas). En el caso del ganado bovino, se toma la decisión en el núcleo de la cúspide, pero generalmente en consulta con personas del resto de niveles, incluyendo el nivel comercial, de modo que se refleje la pauta de propiedad del programa.

El resultado de los programas reproductivos, particularmente en ganado bovino para leche y carne, se logra muchos años después de tomar las decisiones de selección. Incluso en aves, cuyo intervalo generacional es más breve, un cambio genético realizado en el núcleo no tendrá repercusión a nivel comercial en menos de tres años, como mínimo. Ello subraya la importancia de anticiparse a las demandas futuras al definir los objetivos reproductivos.

En un mercado competitivo como la industria avícola, la identificación de caracteres de interés y la concentración de esfuerzos selectivos no solo depende en gran medida de las señales del mercado (es decir, los productores comerciales), sino también del grado de aceptación de los productos de los programas de la competencia.

3.2 Criterios de selección

El objetivo reproductivo es distinto de los criterios de selección utilizados para decidir qué animales serán los progenitores de la generación siguiente. Por lo general, la decisión implica construir un «índice de selección». Se realizan mediciones en los animales

candidatos y sus parientes, que se ponderan según coeficientes indexados calculados para maximizar la correlación entre el índice de selección y el objetivo reproductivo. Debe subrayarse que algunos de los caracteres del objetivo reproductivo pueden diferir de los utilizados para construir el índice de selección. Por ejemplo, el ganado porcino se selecciona por la gordura de la canal – este es un carácter del objetivo reproductivo. Sin embargo, no puede observarse en los candidatos a la selección, puesto que tendrían que sacrificarse. Lo que se registra en estos casos es un carácter predictor, el grosor de la capa grasa subcutánea, medido ultrasónicamente. Cuando resulta difícil o caro recabar información sobre las relaciones entre animales, y los caracteres son suficientemente heredables, la selección puede basarse en el rendimiento individual (selección en masa). Confeccionar un índice de selección es una tarea técnica, que exige personal con la formación necesaria.

Existen numerosas circunstancias en las que se contemplan muchos caracteres en el momento de la selección que no están incluidos en el listado de caracteres del objetivo reproductivo. Ello puede reducir seriamente la intensidad de selección real, y por consiguiente, limitar la mejora genética. En ocasiones esto es aceptable (p. ej., un defecto genético es una razón válida para el sacrificio selectivo). En otros casos dichos criterios son dudosos (p. ej., «volumen corporal» como indicador de productividad) o no recomendables (p. ej., tamaño de la osamenta o «capacidad lechera»).

3.3 Diseño de un programa reproductivo

Diseñar un programa reproductivo implica tomar un conjunto de decisiones en orden lógico. El diseñador del programa debe entender que es un proceso que evoluciona con el tiempo – de niveles simples a más complejos de sofisticación en la medida que avanza la organización y la capacidad. La mayoría de decisiones implican determinar la mejor manera de utilizar la actual

estructura poblacional para generar de manera fiable la mejora o la reestructuración que más convenga. La evaluación económica forma parte integral de dicho proceso, y debe llevarse a cabo tanto en la fase de pre-implantación como para evaluar el cambio producido una vez el programa está en marcha.

Las decisiones de inversión en el programa reproductivo deben evaluarse con respecto a los tres componentes que contribuyen a la tasa de cambio genético: intensidad de selección, precisión de la selección e intervalo generacional. Sobre la base de dichos componentes, se evalúan posibilidades alternativas. Se utiliza la teoría de la genética cuantitativa para predecir la ganancia esperada de cada una de las diferentes alternativas (Falconer y Mackay, 1996). Para ello se requieren parámetros de la genética poblacional, como la heredabilidad y variación fenotípica de los caracteres, para establecer el índice de selección (aunque también es posible basarse en supuestos razonables) (Jiang *et al.*, 1999). Luego se perfila un plan de apareamientos adecuado, que debe incluir suficientes registros para su evaluación genética, así como suficientes animales de élite para el núcleo y posterior multiplicación en los niveles inferiores de la pirámide reproductiva. Obsérvese que al realizar dichas actividades, el diseñador del programa se halla ya en la fase de optimización.

Al diseñar el programa reproductivo, no debe olvidarse que la mayoría de aspectos están directamente influenciados por la tasa reproductiva de los animales reproductores. Una tasa reproductiva más alta significa que se necesitarán menos ejemplares reproductores. Más descendencia por animal reproductor permite una estimación más exacta del valor reproductivo.

3.4 Registro y gestión de datos

El registro de datos de rendimiento y pedigríes es la principal fuerza motriz de la mejora genética. Las mediciones abundantes y precisas conducen a una selección eficiente. En la práctica, sin embargo, los recursos son limitados. La pregunta que se plantea, entonces, es: ¿qué

PARTE 4

caracteres deben medirse y en qué animales? Preferiblemente, deberían medirse los caracteres incluidos en el objetivo reproductivo, pero ello dependerá de la facilidad y costo de la medición. Como mínimo, a los animales del núcleo se les debe medir el rendimiento y el pedigrí.

La recogida de datos de rendimiento sobre los que basar decisiones de selección es un componente vital de cualquier programa reproductivo, y así debe considerarse, más que como un subproducto de los sistemas de registro diseñados primordialmente como soporte de la gestión a corto plazo (Bichard, 2002). La tarea de recoger, compilar y utilizar datos en la evaluación genética exige una buena organización y recursos considerables (Wickham, 2005; Olori *et al.*, 2005). En muchos casos, se deberá disponer de programas especiales para generar y registrar los datos requeridos. El costo y complejidad de dichos programas variará según el tipo de explotación ganadera, tipo de caracteres, y método de prueba.

Tipo de explotación ganadera. Las empresas porcinas y avícolas disponen de instalaciones propias para la recogida y almacenamiento de todos los datos de interés, en tanto que otras organizaciones agropecuarias se basan en recursos compartidos con otras partes interesadas. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en un programa reproductivo típico para ganado lechero (véase el subcapítulo 4.1).

Tipo de carácter. Si el carácter de interés es el peso corporal del animal vivo, lo único que precisa es una balanza. Ahora bien, para medir la eficiencia del pienso en animales concretos, será menester un equipo más sofisticado para registrar la ingesta individual de pienso.

Comparación entre rendimiento y pruebas de progenie o parentesco. En un programa de prueba del rendimiento, los caracteres de interés se registran directamente en cada individuo. Por ejemplo, el peso corporal y el crecimiento se suelen registrar durante un período fijo de la vida del ganado bovino, cerdos, pollos de engorde o pavos. Básicamente, se cría conjuntamente una cohorte de animales en condiciones similares durante un período de tiempo en el que se mide el rendimiento

individual. Ello puede hacerse en la propia granja, o en una instalación de pruebas de rendimiento en la que se agrupan bovinos o porcinos de distintos rebaños o granjas para compararlos directamente en las mismas condiciones.

En ocasiones, la información deseada puede no ser medible directamente en el candidato a selección, ya sea porque la expresión del carácter está limitada a un sexo, como en la producción de huevos y leche, o porque los caracteres solo son medibles tras el sacrificio del animal (p. ej., composición de la canal). En dichas circunstancias, debe optarse por registros indirectos mediante pruebas de progenie o de parentesco próximo (hermanos/as). También es útil en caracteres con baja heredabilidad, que pueden precisar varios registros para evaluar adecuadamente a un individuo. Las pruebas de progenie se refieren a un programa en el que se evalúa a un individuo en base a registros de rendimiento obtenidos de su progenie. Se asocia principalmente a machos (Willis, 1991), ya que resulta más fácil generar una progenie numerosa de un único macho que de una única hembra. Habitualmente no se realizan pruebas de progenie en todos los machos, sino solo en los nacidos de «apareamientos de élite». Las pruebas de progenie son muy útiles para aumentar la precisión de la selección en especies con tasas reproductivas bajas, y para estudiar las interacciones entre genotipo y entorno.

Para muchas especies de rumiantes, el costo de una instalación centralizada para pruebas de progenie puede resultar prohibitivo. Suele ser habitual, por tanto, dar participación a tantos ganaderos o productores comerciales como sea posible. Se anima a los ganaderos a aceptar semen de un grupo de sementales jóvenes a utilizar en una determinada proporción de sus hembras. Como dichos sementales no poseen un mérito genético demostrado, suele ser necesario un buen incentivo para que los ganaderos acepten la realización de las pruebas de progenie (Olori *et al.*, 2005). En estas circunstancias, el costo total (varios centenares de miles de dólares norteamericanos) lo suelen sufragar los propietarios del semental joven.

Información de pedigrí. Aparte de los registros de rendimiento, la evaluación genética en un programa reproductivo requiere información sobre el pedigrí. La calidad de la información sobre el pedigrí depende de que sea profunda y completa. Ya sea porque el objetivo reproductivo implica mejora genética, o porque se desea prevenir la extinción resultante de una pérdida de variación genética, el pedigrí de todos los ejemplares reproductivos debe documentarse y mantenerse.

Sistemas de información. Cuando se dispone de recursos, se ha demostrado que una base de datos centralizada con acceso compartido es beneficiosa y rentable (Wickham, 2005; Olori *et al.*, 2005). Disponer de información completa de gestión a partir de dicho sistema sirve a menudo de estímulo para seguir participando en los programas de registro de datos. En programas reproductivos modestos, la única exigencia será un único ordenador personal con programas informáticos para la contabilidad, gestión de datos y registro, en tanto que los programas a nivel nacional precisarán de un departamento especializado que use tecnología informática moderna (Grogan, 2005; Olori *et al.*, 2005).

3.5 Evaluación genética

El éxito de un programa reproductivo requiere que los animales con genotipos superiores respecto a los caracteres de interés sean identificados y seleccionados para producir la generación siguiente. Identificar a estos animales exige desentrañar la contribución ambiental de la observación fenotípica. Ello se consigue mediante la predicción del valor reproductivo o la evaluación genética. Constituye una actividad fundamental de todo programa reproductivo.

La evaluación genética debe ser fiable. La metodología BLUP, aplicada a una serie de modelos dependiendo de los caracteres y datos disponibles, se ha convertido en el método estándar para casi todas las especies. También debe disponerse de la evaluación en el momento adecuado, para optimizar la inversión en recogida de datos y gestión de la base de datos. Un sistema de evaluación genética

que utilice BLUP se basa en una sólida estructura de datos. Si se dan estas condiciones previas, la inversión en BLUP suele ser muy rentable.

La evaluación entre rebaños tiene la ventaja de permitir comparaciones equilibradas de los valores reproductivos predichos (PBV) de animales en rebaños distintos, lo cual conduce a seleccionar más ejemplares de los rebaños genéticamente superiores. Para conseguirlo, los vínculos genéticos (trasiego de animales entre rebaños con los años) son críticos. Para utilizar la información de distintos rebaños, se necesita una estructura organizativa apropiada. Esta puede conseguirse mediante una estrecha colaboración entre ganaderos y sus asociaciones, universidades y centros de investigación. Es esencial la identificación inequívoca de todos los animales que aportan datos al programa reproductivo. Los analistas de datos, guiados y asistidos por el personal de las asociaciones ganaderas, asignan ejemplares a grupos contemporáneos (grupos de animales de la misma edad aproximada que son criados juntos y con el mismo tratamiento). Esta asignación resulta crítica para una evaluación genética precisa. Los ganaderos envían los datos a la asociación, se comprueba que no haya errores de bulto, y la información se transmite al equipo de evaluación para su análisis. Para los rumiantes, dichas evaluaciones se hacen una o dos veces al año, pero en los programas porcinos y avícolas de engorde, en los que la selección se realiza cada mes, cada semana o dos veces por semana, las evaluaciones se realizan de manera continua.

Los resultados de las predicciones genéticas (PBV e índices agregados) se suelen documentar en los certificados de registro de los animales. Es habitual registrar los PBV en los catálogos de venta y en los de semen. Ello implica que los usuarios finales (ganaderos) entiendan y acepten los EBV producidos, y sepan cómo utilizarlos. No tiene sentido organizar una evaluación genética si el usuario final no hace uso de los resultados.

Una unidad típica de evaluación genética requiere personal especializado y recursos materiales suficientes para llevar a cabo el análisis de datos y producir informes adecuados

PARTE 4

que faciliten las decisiones de selección. Muchos programas reproductivos a gran escala disponen de unidades propias de evaluación genética. No obstante, también resulta sencillo contratar dicha evaluación a una institución externa. Muchas universidades y centros de investigación disponen de un servicio de evaluación genética para los programas reproductivos nacionales y no-nacionales. Dichos servicios pueden cubrir razas o especies distintas, ya que los principios de evaluación genética y la informática necesaria son similares en ambos casos. La unidad de evaluación genética más popular con buena reputación internacional es probablemente el Servicio Internacional de Evaluación de Toros (INTERBULL). Dicho centro, ubicado en la Universidad Agrícola Sueca de Uppsala, se creó como subcomité permanente del Comité Internacional de Registro de Animales (ICAR), y proporciona evaluación genética internacional para facilitar la comparación entre toros para la industria láctea a nivel internacional. Otro ejemplo es BREEDPLAN, un servicio comercial de evaluación genética que tiene su base operativa en Australia, con clientes en muchos países.

3.6 Selección y apareamiento

La selección debe basarse predominantemente en el criterio de selección. De cada sexo deben seleccionarse tan pocos ejemplares reproductivos como sea posible para maximizar la intensidad de selección, siendo las únicas restricciones el número de animales necesarios para un tamaño poblacional mínimo, y el número necesario para el objetivo reproductivo. Dado que las tasas reproductivas de los machos son generalmente muy superiores a los de las hembras, normalmente se seleccionan muchos menos machos reproductores que hembras.

Los candidatos a la selección serán de edades distintas, de manera que se dispondrá de información desigual sobre ellos. Por ejemplo, para los sementales mayores se dispondrá de una prueba de progenie, en tanto que para los más jóvenes la única información disponible será su

propio rendimiento, o el de su madre o hermanos/as. Si se utiliza BLUP, dichos candidatos se pueden comparar de manera simple y equilibrada. Probablemente el mejor enfoque es seleccionar más animales con EBV exactos, y solo seleccionar ejemplares óptimos con EBV menos precisos.

Está ampliamente aceptado que el uso de información familiar, como se da en BLUP, aumenta la probabilidad de coselección de parientes próximos, lo cual a su vez conduce a mayor consanguinidad. Se usan varios métodos para reducir dicha endogamia manteniendo al propio tiempo tasas altas de ganancia genética. Todos ellos se basan en el mismo principio – reducir la relación media entre individuos seleccionados. Se han creado programas de ordenador para optimizar las decisiones de selección a partir de una lista dada de candidatos para los que se dispone de información sobre pedigrí y EBV. Otros métodos ad hoc para controlar la endogamia incluyen seleccionar un número suficiente de sementales, ya que la tasa de consanguinidad depende del tamaño poblacional efectivo; no sobreutilizar los machos del núcleo; restringir el número de parientes cercanos seleccionados, especialmente el número de machos seleccionados por familia; limitar el número de hembras apareadas a cada macho; y evitar apareamientos entre hermanos completos o hermanastros. Estas sencillas reglas han sido muy eficaces para mantener un nivel bajo de endogamia en la industria porcina y avícola.

El apareamiento de animales seleccionados puede hacerse o no al azar. En este último caso, los mejores machos seleccionados se aparean con las mejores hembras seleccionadas – el denominado apareamiento selectivo. El valor genético medio de la progenie nacida en la siguiente generación no varía, pero habrá más varianza entre la progenie. Cuando se incluyen múltiples caracteres en el objetivo reproductivo, puede ser útil el apareamiento selectivo – combinando las cualidades de distintos progenitores para caracteres distintos.

Toda estrategia de apareamiento requiere instalaciones apropiadas. Para el apareamiento natural, debe colocarse a los animales en el mismo corral, pero separados de otros de la misma edad reproductiva. Se puede utilizar la IA, pero ello requiere disponer de un conjunto de recursos y capacidades (recogida de semen, congelación y/o conservación, e inseminación).

3.7 Monitorización del programa

Se refiere a la evaluación periódica del programa con respecto a la evolución hacia el objetivo deseado. Si es necesario, conduce a una reevaluación del objetivo y/o de la estrategia reproductiva. También es importante la monitorización para garantizar que cualquier efecto indeseable del proceso de selección se detecte tempranamente, como una mayor susceptibilidad a las enfermedades o una reducción de la variación genética.

Para evaluar los avances, se suelen obtener tendencias fenotípicas y genéticas por regresión a la media de los valores fenotípicos y reproductivos anuales a partir del año de nacimiento. Aparte de esta información, los ganaderos realizan periódicamente pruebas de rendimiento internas y externas. La prueba externa debe cubrir una amplia gama de entornos productivos para garantizar que los animales seleccionados funcionan bien en condiciones diversas. Otras fuentes de información, y probablemente las más importantes, son los resultados sobre el terreno y la opinión emitida por los clientes. En última instancia, los clientes son los mejores jueces del trabajo realizado.

3.8 Diseminación del avance genético

El valor de los ejemplares superiores es limitado si no contribuyen eficazmente a la mejora del acervo génico de toda la población diana. El impacto global de la mejora genética depende de la diseminación del material genético. Las tecnologías reproductivas, en especial la IA, son muy importantes a este respecto. Ahora bien, su impacto varía según las especies. En la cría de ovejas y cabras, el intercambio de material

genético depende en gran medida del comercio de animales vivos. En el caso del ganado bovino, la IA posibilita que los toros seleccionados en el núcleo se puedan utilizar en toda la población. En principio, nada impide que un toro excepcional tenga mucha descendencia en toda la población. No obstante, realizar la IA usando semen de toros de la misma familia de manera muy intensiva puede conducir en última instancia a la endogamia.

Debería ser posible aplicar los elementos antes descritos incluso en condiciones básicas. Las estructuras reproductivas no requieren necesariamente sistemas sofisticados de registro de datos y evaluación genética, ni tampoco exigen inicialmente el uso de tecnologías reproductivas. La estructura reproductiva debe determinarse según lo que sea posible y óptimo. Las restricciones medioambientales o infraestructurales, las tradiciones, y las condiciones socioeconómicas deben tenerse en cuenta al planificar los programas reproductivos.

4 Programas reproductivos en sistemas de alto insumo

En sistemas de alto insumo, la mejora genética continua se genera fundamentalmente por cría directa dentro de una raza o línea. En el caso de los rumiantes, es en gran medida debida a la posición de fuerza y denodado esfuerzo de las asociaciones de ganaderos, así como de los resultados espectaculares obtenidos con dicho método. El cruzamiento se usa para sacar partido del vigor híbrido (heterosis) y la complementariedad. En aves y cerdos, los ganaderos concentran sus esfuerzos en la selección intra-raza o intra-línea, y usan el cruzamiento para capitalizar la heterosis en caracteres adaptativos y la complementariedad en otros.

El número de empresas de cría ganadera en el mundo es relativamente bajo, pero son de una gran importancia económica. Actúan a nivel mundial de manera creciente. Como los siguientes subcapítulos ilustrarán, la estructura, incluida la

PARTE 4

propiedad, de las empresas reproductoras difiere mucho entre especies.

4.1 Reproducción del ganado bovino de leche y carne

Criterios de selección

En el ganado de leche, la producción media de leche, grasa y proteína por vaca y año ha aumentado enormemente en los últimos decenios a consecuencia del uso generalizado de razas como la Holstein-frisona y la selección intensiva intrarracial. Dicho aumento refleja también el hecho de que la productividad ha sido durante muchos años un importante objetivo de selección, una selección basada principalmente en caracteres productivos y morfológicos.

En años recientes se ha evidenciado un creciente malestar entre los consumidores relativo a los problemas de bienestar animal, así como respecto al uso de antibióticos en la producción agropecuaria. Las empresas ganaderas también se han dado cuenta que la selección basada únicamente en la cantidad de producto por animal conduce a un deterioro de la salud y rendimiento reproductivo del animal, así como a un mayor estrés metabólico y una menor longevidad (Rauw *et al.*, 1998). A consecuencia de ello, ha aumentado el énfasis en los caracteres funcionales, y se presta menos atención a la cantidad de producto. La selección de caracteres funcionales se basa ahora en registros directos de dichos caracteres más que en caracteres tipo. Se han desarrollado valores reproductivos para una amplia gama de caracteres funcionales, y se han aplicado en la mayoría de países. Esto posibilita que empresas de cría y ganaderos presten una atención directa a dichos caracteres en sus decisiones de selección.

Los ganaderos se enfrentan a dificultades en dos campos – la cría (incluido el registro) y la comercialización. Con respecto a la cría, existen problemas asociados a las respuestas correlacionadas con la selección. En la mayoría

de programas reproductivos para bovinos, se construye un índice agregado que incluye caracteres como crecimiento, producción lechera, fertilidad, conformación, número de células somáticas en leche, facilidad del parto y duración de la vida productiva (véanse más detalles en el Cuadro 99). En el ganado lechero, se ha primado (y se sigue haciendo) la producción de leche, a pesar de las correlaciones negativas entre producción de leche, reproducción y otros caracteres sanitarios. Se han descrito, por tanto, efectos secundarios indeseables – como una menor fertilidad, y una mayor susceptibilidad a mastitis, problemas en las patas, y cetoacidosis.

En bovinos de engorde y en ovejas, la selección en favor del crecimiento ha llevado a pesos más altos al nacimiento y a un mayor riesgo de problemas en el alumbramiento. También cabe esperar de las altas tasas de crecimiento un aumento del tamaño de las hembras reproductoras en su madurez. Ello puede conducir a menores tasas reproductivas si los animales de mayor tamaño no cubren adecuadamente sus necesidades nutritivas debido a limitaciones en la cantidad o

Recuadro 81 Problemas durante el parto en ganado bovino Belgian White Blue

En ganado bovino de engorde, la demanda de carne de alta calidad ha llevado a usar razas, como la Belgian White Blue, que tienen fenotipos extremos. Sin embargo, esta raza presenta una altísima proporción de partos por cesárea (Lips *et al.*, 2001). A corto plazo, dicha proporción no se puede reducir significativamente. La extrema muscularidad de la Belgian White Blue se debe en gran medida al gen de la miostatina, un único gen autosómico recesivo localizado en el cromosoma 2. Es dudoso, por tanto, que se puedan reducir las dificultades en los alumbramientos manteniendo al propio tiempo la muscularidad extrema. Por dichas razones, aparte del problema evidente de bienestar animal, el futuro de la raza está en entredicho.

Recuadro 82**Cruzamientos para resolver problemas de endogamia en ganado Holstein**

La raza Holstein, formada en su inmensa mayoría por genes de la raza Holstein americana, ha sustituido en gran medida a otras razas lecheras en todo el planeta. Los caracteres de producción y conformación se han ido enfatizando en la cría de las Holsteins debido a su moderadamente alta heredabilidad y facilidad en la recogida de datos. No obstante, hasta hace bien poco se ha hecho caso omiso de la fertilidad de las hembras, facilidad en el parto, mortalidad de terneros, salud y supervivencia. Los problemas asociados a los caracteres funcionales,

vinculados a un aumento de la endogamia a nivel internacional, han suscitado un enorme interés en el cruzamiento por parte de los productores comerciales de ganado de leche. Los sementales de raza pura se seguirán utilizando en todas las terneras y vacas de leche para el cruzamiento. La mayoría de sistemas de cruzamiento con ganado lechero utilizarán tres razas para optimizar el nivel medio de heterosis entre generaciones.

Para más información, véase Hansen (2006).

calidad del forraje disponible. Estos efectos indeseables pueden evitarse, o por lo menos reducirse, aumentando la ponderación de los caracteres funcionales en los índices de selección. Ello presupone que dichos caracteres se puedan medir directamente. El registro de los caracteres funcionales sigue siendo un importante obstáculo que dificulta su inclusión en los programas reproductivos. Un ejemplo de ello es la eficiencia de la utilización de pienso. Actualmente resulta imposible registrar la ingesta de pienso en un gran número de animales – lo cual impide una selección eficiente de dicho carácter.

También hay problemas asociados a la comercialización. Para la leche, ya hace muchos años que se han implantado en muchos países buenas prácticas de gestión, y la calidad del producto tiene un impacto directo en el precio que se paga a los productores. En el caso de la carne, sin embargo, la trazabilidad y la organización de la cadena productiva han sido tradicionalmente mediocres. Ello limita las oportunidades de mejorar la calidad. Por lo general, a los ganaderos no se les recompensa por la calidad de la carne, y tampoco se les valora demasiado la calidad de la canal.

Organización y evolución del sector reproductivo

Debido a su baja tasa reproductiva, al largo intervalo generacional y a la gran cantidad de espacio necesario para estabular cada animal, la cría de ganado bovino posee una estructura organizativa más compleja y abierta que el sector avícola o porcino. El flujo génico puede ir de criador a productor y viceversa. Los recursos de información se comparten entre las partes interesadas a distintos niveles. En un programa típico de cría de ganado lechero, las asociaciones de criadores suelen ser propietarias y gestoras de la información sobre pedigrí, en tanto que los registros de producción lechera son propiedad de los ganaderos, pero documentados y gestionados por organizaciones de registro lechero. La información sobre fertilidad y rendimiento reproductivo la gestionan las empresas que ofrecen servicios de IA, en tanto que la información sanitaria suelen conservarla los veterinarios. A menudo, dichas organizaciones se hallan en ubicaciones descentralizadas y pueden almacenar la información en sistemas distintos.

Como la producción ganadera es una empresa agrícola tradicional de envergadura, y como la cría tiene un gran impacto sobre dicha actividad, los programas reproductivos de ganado bovino tienden a ser más tutelados por las agencias

PARTE 4

CUADRO 99

Objetivos reproductivos en rumiantes

Objetivos/producto	Criterios	Especificación ulterior
Rasgos productivos		
Leche	Cantidad	Producción de sustancias en leche
	Contenido/calidad	% proteína, % grasa, recuento de células somáticas, coagulación de la leche
Carne	Tasa de crecimiento	En distintas edades
	Calidad de la canal	Contenido en grasa, cociente grasa/carne
	Calidad de la carne	Terneza, jugosidad
Lana	Cantidad	Longitud, diámetro
	Calidad de la fibra	
Rasgos funcionales		
Salud y bienestar	Defectos genéticos	BLAD, sindactilia y CVM
	Incidencia de mastitis	
	Conformación de ubres	Inserción de la ubre, profundidad de la ubre, características del pezón
	Problemas en pies y patas	
Eficiencia reproductiva	Locomoción	Indicador de trastornos de la pezuña
	Fertilidad de la hembra	Estros visibles, tasa de embarazo
	Fertilidad del macho	Tasa de no retorno
	Facilidad del parto	Efectos directos y maternos, nacidos muertos
	Número de nacidos vivos	
Eficiencia del pienso	Eficiencia de la conversión del pienso	
	Persistencia de la producción lechera	
Facilidad de trabajo	Ordeñabilidad	Velocidad de ordeño
	Comportamiento	
Longevidad	Vida funcional del rebaño	

gubernamentales que la cría avícola o porcina, y suelen tener, por consiguiente, un enfoque más específico de país. La mayoría de programas se iniciaron o mantuvieron con ayudas o subvenciones de las agencias gubernamentales nacionales (Wickham, 2005). Organizaciones como el Laboratorio de Programas de Mejora Animal (AIPL) del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), La Red Lechera Canadiense (CDN), Cr-Delta en Países Bajos, y el Instituto de la Cría (IE) en Francia, desempeñan un papel importante en los programas reproductivos de sus países respectivos, especialmente en la gestión de datos y evaluación genética. Ocurre lo mismo con las asociaciones de criadores, que han desempeñado un papel capital en el mantenimiento y mejora de la integridad de sus razas respectivas. El

éxito de la Holstein-frisona, que es, con mucho, la raza dominante de sementales en la mayoría de rebaños lecheros de Occidente, es testimonio de las actividades de la World Holstein-Friesian Federation (WHFF). La creación de libros de rebaño con personal formado y la importancia de los concursos de rendimiento (que son temas estrictamente intrarraciales) han colaborado a sostener el desarrollo de la raza pura y mantener la mayoría de razas de ganado lechero y de engorde.

Los programas de selección realizados por los centros de IA han pasado del nivel local al nacional, y cada vez están más implantados internacionalmente. La diseminación de material genético de animales «superiores» es ya mundial. Se augura que en los próximos 10 a 15 años los

Recuadro 83**Bovino Norwegian Red – selección de caracteres funcionales**

La raza Norwegian Red (NRF) es un ganado lechero de alta producción en la que la fertilidad y la salud se han incluido en un índice de selección (conocido como Índice de Mérito Total) que lleva funcionando desde la década de 1970. El ejemplo de la NRF es una ilustración práctica de que se puede conseguir un correcto equilibrio de caracteres productivos y funcionales en un programa reproductivo sostenible. El éxito se ha basado en un sistema eficaz de registro y en la voluntad de ponderar adecuadamente los caracteres funcionales. El programa es gestionado por GENO, una cooperativa propia de ganaderos noruegos. Actualmente, existen diez caracteres en el Índice de Mérito Total. La lista siguiente muestra la ponderación relativa de cada uno:

Índice lechero	0,24 %
Resistencia a la mastitis	0,22 %
Fertilidad	0,15 %
Ubre	0,15 %
Carne (tasa de crecimiento)	0,09 %
Patas	0,06 %
Temperamento	0,04 %
Otras enfermedades	0,03 %
Nacidos muertos	0,01 %
Facilidad del parto	0,01 %

Las características clave del programa incluyen el hecho de que más del 95 % de los rebaños participan en el sistema de registro y se hallan en un plan de apareamiento por ordenador; el 90 % de las montas se realiza mediante IA, y hay un 40 % de sementales de prueba. Todos los diagnósticos y registros sanitarios los dirigen veterinarios, y se mantienen bases de datos del pedigrí y de la IA. Anualmente se prueban unos 120 sementales jóvenes con grupos de progenie de 250 a 300 hijas – ello permite la inclusión de caracteres de baja heredabilidad (como la mastitis, con una heredabilidad de 0,03 y otras enfermedades con 0,01) proporcionando un índice de selección de gran precisión.

La producción láctea por lactancia en los mejores rebaños supera los 10 000 kg, y las mejores vacas producen más de 16 000 kg. La tendencia genética es positiva respecto a la fertilidad – el índice de no retorno a los 60 días en la población es del 73,4 %. Entre 1999 y 2005 la incidencia de mastitis en vacas NRF se redujo del 28 % al 21 %, y se calcula que de esta reducción, el 0,35 % por año se debe a la mejora genética. Hay menos de un 2 % de dificultades de alumbramiento, y menos de un 3 % de los terneros nacen muertos.

La sostenibilidad del programa reproductivo se sustenta en una serie de factores:

- Tanto producción como función son expresadas por muchos caracteres, y ambas reciben una alta ponderación en la estrategia reproductiva.
- Muchas combinaciones diferentes pueden conducir a un alto valor reproductivo total. Ello permite seleccionar animales de diversas líneas reproductivas, reduciendo automáticamente el riesgo de endogamia.
- La gestión reproductiva se basa en datos de rebaños lecheros normales, lo cual garantiza que el programa reproductivo produce animales bien adaptados a las condiciones productivas habituales.

Fuente: Erling Fimland.

Para más información, véase: http://www.geno.no/genonett/presentasjonsdel/engelsk/default.asp?menyvalg_id=418



Fotografía: Erling Fimland

PARTE 4

centros de IA se unificarán en un puñado de empresas mundiales de cría, como ya ocurre en los sectores avícola y porcino. Por ejemplo, a principios de la década de 1990 el programa reproductivo «Genus» era el más importante del Reino Unido en el sector bovino. Con los años, Genus se ha fusionado con ABS Genetics de los Estados Unidos de América para formar una compañía global, que suministra genética bovina a partir de diversas razas de ganado bovino de leche y de engorde a más de 70 países. Y más recientemente, Genus adquirió Sygen, una empresa de biotecnología.

Los programas reproductivos en ganado bovino dependen de los productores comerciales para generar datos suficientes para la evaluación genética. Esta necesidad es aún mayor en el caso de los programas lecheros, que requieren grandes grupos de progenie para la correcta evaluación de los toros (especialmente para caracteres con baja heredabilidad), o en ganado de engorde para poder estimar los efectos directos y maternos. El uso de la IA para diseminar semen en muchos rebaños se ha generalizado, y ello contribuye a facilitar la comparación de animales criados en distintos entornos. La IA también posibilita una mayor intensidad de selección en los machos.

El éxito de la selección en razas bovinas lecheras es consecuencia de programas bien organizados para medir la producción, realizar pruebas en sementales jóvenes y conseguir una evaluación genética efectiva. El alto nivel de cebado en la producción comercial lechera permite la expresión de un alto nivel del potencial genético de las vacas, que a su vez posibilita una selección particularmente eficaz.

Los estudios de cruzamiento con ganado lechero han encontrado sistemáticamente considerables niveles de heterosis entre razas lecheras en cuanto a caracteres asociados a producción de leche, fertilidad y supervivencia. No obstante, en vista del éxito de la selección a largo plazo en favor de altos niveles de producción lechera en la raza Holstein-frisona, se ha popularizado el uso de animales puros de dicha raza. Sin embargo, hay presiones crecientes por parte de los productores

comerciales, que están sufriendo pérdidas debido a la baja fertilidad y longevidad, de modo que la necesidad de una mayor flexibilidad en el desarrollo del producto es probable que conduzca en un futuro a producir más ganado híbrido a nivel de programa reproductivo.

El cruzamiento aplicado al ganado de engorde se suele emprender sin un programa bien diseñado. En el caso del bovino de engorde, los programas de cruzamiento son difíciles de llevar a la práctica en rebaños que usan menos de cuatro toros. E incluso en explotaciones de mayor envergadura, manejar separadamente los rebaños, como exigen los programas de cruzamiento, puede resultar difícil (Gregory *et al.*, 1999).

En ganado bovino, la introducción de la IA ha conllevado una enorme reducción del número de sementales, y ha contribuido al intercambio de material genético entre regiones y países. Mediante la IA, los toros seleccionados en el núcleo se utilizan en la población general. A consecuencia de la alta tasa reproductiva de los sementales, la selección en toros contribuye en un 70 % al cambio genético total en poblaciones de ganado bovino de leche y de carne.

4.2 Reproducción de ovejas y cabras

Criterios de selección

Se crían ovejas y cabras por su carne, leche, lana o fibra (véase el Cuadro 99 para los objetivos reproductivos correspondientes). La leche de oveja es un producto importante en los países mediterráneos. Se transforma principalmente en quesos diversos (Roquefort, Fiore Sardo, Pecorino Romano y Feta). La producción y calidad de la leche son importantes criterios reproductivos. La oveja de leche también se cría por su tasa de crecimiento, así como por caracteres reproductivos como el índice gemelar, y por caracteres tipo como la forma de la ubre (Mavrogenis, 2000). En cambio, en Europa noroccidental, la carne es el producto más significativo obtenido de la oveja. Los objetivos reproductivos específicos dependen del entorno productivo (p. ej., montaña o tierras

bajas), y pueden incluir tasas de crecimiento, calidad de la canal, rendimiento reproductivo y capacidades maternas. La producción comercial de lana está dominada por Australia y Nueva Zelanda, que gestionan rebaños especializados de raza merina pura por su excelente lana. Aunque todos los ejemplares descienden de la oveja merina de España, con los años se han desarrollado estirpes diversas. La necesidad de disponer de animales adaptados a condiciones ambientales específicas ha condicionado el desarrollo de la raza. En Australia, por ejemplo, se han criado diferentes estirpes de merinas por su adaptación al entorno en diferentes partes del país. Con respecto a la producción de lana, los criterios de selección suelen incluir el peso del vellón limpio y el diámetro de la fibra. Al aumentar la importancia económica de la carne en relación a la lana, se han ido variando los objetivos reproductivos hacia criterios como la tasa reproductiva y el peso a la venta.

En los países mediterráneos, en el sur de Asia, y en partes de América Latina y África, se crían cabras principalmente por la leche. En los países mediterráneos y en América Latina, la leche de cabra se suele utilizar para la producción de queso, en tanto que en África y sur de Asia, se consume cruda o acidificada. En otras partes de Asia o África, se crían cabras para la producción cárnica. En dichas regiones se les suministra muy poca alimentación suplementaria, y el ramoneo aporta una cantidad significativa de las necesidades nutricionales. Los ejemplares son de tamaño moderado a pequeño, y de musculatura moderada a ligera. Una excepción la constituye la cabra Boer de África del Sur, criada para carne. Esta raza se ha introducido en otros países africanos y en otras partes del mundo, como Australia.

Organización del sector reproductivo

Los programas reproductivos más importantes para ovejas de lana fina se centran en el hemisferio sur (Australia y Nueva Zelanda). Dichos programas se basan en la cría directa. Ahora bien, en las explotaciones de ovejas laneras en las que

una parte significativa de los ingresos proviene del cordero (para sacrificio), se ha utilizado una producción F1 autocontenida. En este tipo de programa, se realiza cría directa de las ovejas reproductoras por su lana. Un alto porcentaje de las hembras se aparea con carneros de lana fina para producir hembras de sustitución. El resto de ovejas se aparea con sementales terminales y se venden todos los corderos.

En el caso de la cría de ovejas de carne, el tamaño medio de los rebaños es generalmente demasiado pequeño para permitir una selección intensiva intra-rebaño. Este problema se ha resuelto mediante programas cooperativos de cría. Los programas de reproducción nuclear están bien establecidos (p. ej. James, 1977), pero recientemente están ganando popularidad los programas de sementales referenciados (SRS). En los SRS, se crean vínculos genéticos entre rebaños mediante el uso mutuo de carneros específicos (sementales de referencia). Dichas conexiones permiten una evaluación genética comparable entre rebaños, ofreciendo un mayor fondo común de candidatos a la selección de objetivos colectivos. Aproximadamente dos tercios de las ovejas del Reino Unido cuyo rendimiento está registrado, incluyendo todas las razas importantes especializadas en carne, pertenecen ahora a dichos programas (Lewis y Simm, 2002).

El cruzamiento forma la base de la industria ovejera estratificada del Reino Unido (Simm, 1998). El sistema funciona como una estructura flexible formada por las asociaciones de criadores, agencias gubernamentales y otras instituciones. Las razas tradicionales de montaña, como la Scottish Blackface, se crían por vía directa en las duras condiciones productivas de las montañas. Las hembras reproductoras de estas razas puras se venden a ganaderos de las «tierras altas» (donde el clima es menos duro y hay mejores pastos). Una vez allí, se las cruza con carneros de razas cruzadas intermedias, como la Blueface Leicester. Las hembras F1 se venden como reproductoras en rebaños de las tierras bajas, donde se las aparea con razas de sementales terminales como la

PARTE 4

Suffolk y la Texel. El objetivo de la recogida de datos y de la evaluación genética es mejorar las razas de sementales terminales para producir carneros de calidad genética superior. La recogida de datos y las evaluaciones genéticas las realizan empresas comerciales como Signet o instituciones de investigación subvencionadas con fondos públicos.

La mayoría de cabras lecheras está en países en desarrollo. No obstante, los programas reproductivos se concentran sobre todo en Europa y América del Norte. El programa de selección francés, basado en IA con semen congelado y sincronización de los estros (60 000 cabras inseminadas/año), y el programa noruego, basado en la rotación de sementales en diversos rebaños (círculos de carneros), son ejemplos de programas organizados de pruebas de progenie. Incluyen una definición formal de los objetivos de selección así como apareamientos organizados para producir sementales jóvenes y su progenie. Probablemente, el mejor ejemplo de un programa reproductivo estructurado de cabras de engorde es el dirigido por la Asociación de Criadores de la Cabra Boer, de Australia. La producción de lana de Angora y Cachemir se basa en la cría directa de las razas respectivas. Prácticamente no hay cruzamiento en las de Angora.

4.3 Reproducción en cerdos y aves de corral

Criterios de selección en cerdos

Como en el caso de los rumiantes, los programas reproductivos porcinos han tenido mucho éxito en la consecución de la mejora genética de los caracteres económicamente importantes, especialmente la ganancia ponderal diaria, el grosor de la grasa dorsal, la eficiencia de la conversión de pienso, y, en el último decenio, el tamaño de la camada (para más detalles, véase el Cuadro 100). Actualmente, el objetivo es criar animales más robustos y eficientes para diferentes condiciones ambientales. Ello implica encontrar una estrategia adecuada para resolver la interacción entre genotipo y entorno, y poner

el acento en caracteres secundarios que hasta el momento han sido de importancia económica mínima. Los caracteres secundarios incluyen la supervivencia de los lechones, el intervalo entre destete y primer estro, longevidad de las cerdas, conformación (especialmente de las patas), vitalidad de los cerdos hasta llegar al peso de sacrificio, color de la carne y pérdida por exudación. La salud de los cerdos es cada vez más importante. Esto significa no solo mejorar el estado sanitario de las instalaciones de cría, sino también seleccionar una mayor resistencia general a las enfermedades en condiciones comerciales.

Al igual que en los rumiantes, existen dificultades para conseguir una selección eficiente de los caracteres «funcionales». Aún no se dispone de herramientas adecuadas para seleccionar una mayor resistencia a las enfermedades o reducir los trastornos metabólicos. Carecemos de conocimientos suficientes de los aspectos genéticos del bienestar animal. Hay que mejorar los métodos para documentar el estrés – por ejemplo, mediante el uso de métodos no invasivos para medir los parámetros indicadores del estrés, medir niveles de catecolaminas, y el registro de la frecuencia cardíaca con chips subcutáneos. Con un mayor conocimiento de las capacidades cognitivas y estrategias de afrontamiento de los cerdos, las características individuales serían indicativas de la capacidad de adaptación a diversas condiciones de estabulación y desafíos sociales, y se podrían incluir en los criterios de selección. Además, es necesaria una evaluación ulterior del impacto de la selección para la resistencia específica a las enfermedades y los objetivos de bienestar animal.

Criterios de selección en aves

Las gallinas ponedoras se han seleccionado principalmente para la productividad. Durante varios decenios, se han refinado los programas reproductivos, y se ha incluido cada vez más caracteres en los objetivos de selección. Hoy en día, los principales objetivos de selección son: el número de huevos vendibles por gallina estabulada por año, la eficiencia de la conversión del pienso en huevos, calidad externa e interna

del huevo, y adaptabilidad a distintos entornos (véase el Cuadro 101 para más detalles).

En la carne de ave, se han conseguido mejoras genéticas sustanciales en el peso a mercado a edades más tempranas y con la correspondiente eficiencia del pienso mediante una simple selección en masa para el índice de crecimiento juvenil y la «conformación». Durante la década de 1970 se introdujo la selección directa para una conversión de pienso eficiente. Durante las últimas dos décadas, el acento de la selección ha pasado de manera creciente a caracteres que son de importancia primordial para las plantas procesadoras – rendimiento de la carne de pechuga, valor total de la canal, eficiencia de la producción de carne magra, uniformidad del producto, y bajas tasas de mortalidad y decomiso. El desarrollo de líneas especializadas de machos y hembras, y la introducción de la alimentación controlada de los progenitores, son herramientas efectivas para superar la correlación negativa

entre la tasa de crecimiento juvenil y los caracteres reproductivos.

El desafío más obvio para la industria avícola radica en las enfermedades. Las empresas de cría primaria ya han eliminado agentes patógenos transmitidos por el huevo, como el virus de la leucosis, los micoplasmas y la *Salmonella* de sus razas de élite, y siguen controlando la ausencia de dichos problemas. Otras enfermedades, como la enfermedad de Marek, *E. coli*, *Campylobacter coli*, y la gripe aviar altamente patógena son más difíciles de controlar.

En el campo del bienestar animal, los grandes retos para los criadores consisten en adaptar las gallinas ponedoras a sistemas de gestión alternativos – por ejemplo, para reducir el picoteo de plumas y el canibalismo en sistemas sin jaulas (picoteo y canibalismo son asimismo problemas graves en pavos y aves acuáticas), y para reducir la incidencia de insuficiencias cardiovasculares (síndrome de muerte súbita y ascitis) y problemas

CUADRO 100

Objetivos reproductivos en cerdos

Objetivos	Criterios	Otras especificaciones
Caracteres productivos		
	Tasa de crecimiento	A distintas edades
	Peso de la canal	
	Calidad de la canal	Canal uniforme, magra
	Calidad de la carne	Capacidad de retención de agua, color, sabor
Caracteres funcionales		
Salud y bienestar	Resistencia general	Robustez
	Vitalidad de lechones Supervivencia de cerdos	Capacidad materna, número de pezones
	Estrés	Eliminación del gen del estrés (halotano) en líneas de hembras, y en lo posible, de machos
	Efectos congénitos	Ejemplo: Atresia anal, criptorquidia, piernas abiertas, hermafroditismo y hernia
	Problemas en patas	Debilidad de patas y cojera
Eficiencia	Tamaño de camada	Número de cerdos a sacrificio por cerda y por año
	Eficiencia de la conversión de pienso	
Longevidad	Vida funcional del rebaño	Producción durante la vida con un mínimo de problemas sanitarios

PARTE 4

CUADRO 101

Objetivos reproductivos en aves

Objetivos/producto	Criterios	Otras especificaciones
Caracteres productivos		
Huevo	Número de huevos	Número de huevos vendible por gallina
	Calidad externa del huevo	Peso medio del huevo, resistencia de la cáscara y color
	Calidad interna del huevo	Composición del huevo (cociente yema/clara, firmeza de la clara y ausencia de inclusiones (sangre y manchas de carne)
Carne	Tasa de crecimiento	Ganancia ponderal; edad al llegar al peso de mercado
	Calidad de la canal	«Rendimiento» en términos de partes valiosas, especialmente carne de pechuga; seleccionar contra llagas en pechuga y otros defectos, para reducir la tasa de decomiso
Caracteres funcionales		
Salud y bienestar	Resistencia a enfermedades	No se usa habitualmente
	Defectos genéticos monofactoriales	
	Problemas de patas en pollos de engorde y pavos	
	Osteoporosis en gallinas ponedoras	
	Insuficiencia cardíaca y pulmonar	Incidencia del «síndrome de muerte súbita» y ascitis en pollos de engorde y deficiencia de alfa-antitripsina en pavos («corazón globular»)
Canibalismo, picoteo de plumas		
Eficiencia del pienso	Consumo de pienso por – kg de masa de huevo en ponedoras – kg ganancia ponderal en pollos de engorde y pavos	
	Consumo residual de pienso	
Longevidad	Duración de la vida productiva	

en patas en pollos de engorde y pavos. No obstante, las causas de dichos problemas son probablemente multifactoriales, y su solución exigirá más investigación.

Organización y evolución de los sectores de cría avícola y porcina

La moderna industria avícola presenta una estructura jerárquica típica, con varios niveles bien diferenciados. Las empresas de cría están radicadas básicamente en Europa y América del Norte, con filiales en las grandes regiones productivas, y son propietarias de las líneas puras. Deben tomar en consideración toda

la cadena productiva – viveros, establos para aves de engorde y ponedoras, plantas de procesado, minoristas y consumidores. Los viveros (multiplicadores) se encuentran cerca de centros poblados en todo el mundo. Reciben o padres o abuelos de los criadores como pollitos de un día de vida, y realizan los cruces finales para productores de huevos y para la industria del engorde de pollos, pavos o patos. Actualmente, las plantas de procesado de huevos, los mataderos y los fabricantes de pienso han establecido relaciones contractuales con los productores de huevos y la industria avícola de engorde, que ofrece a estos últimos una mayor seguridad económica, pero

a costa de una menor iniciativa y libertad de movimientos.

El sector porcino presenta una estructura piramidal similar, consecuencia en gran medida de la introducción del cruzamiento, de la IA, y de granjas de cría especializada. Ahora bien, existen algunas diferencias entre los sectores avícola y porcino. Por ejemplo, un productor de cerdos tenderá a obtener los animales «comerciales» apareando cerdas de una línea especializada de reproductoras con machos de una línea especializada de sementales – adquiriendo los animales de ambos sexos a la empresa criadora (y no a un vivero como en las aves).

A diferencia de las aves, siguen existiendo asociaciones de criadores de cerdos, y se realiza una evaluación genética nacional. Si bien las evaluaciones genéticas de las grandes empresas criadoras se hacen en sus propias instalaciones, las evaluaciones genéticas a nivel de raza pura las llevan a cabo instituciones gubernamentales (p. ej., el Registro Porcino Nacional en los Estados Unidos de América) o las asociaciones de criadores.

Los programas reproductivos avícolas y porcinos se denominan en ocasiones programas reproductivos «comerciales» debido a la estructura de propiedad de dichas empresas. En el transcurso de los años, dichos programas se han ido fusionando hasta convertirse en grandes corporaciones. En el sector avícola, por ejemplo, entre dos y tres grupos de criadores primarios cubren cerca del 90 % de las ponedoras, pollos de engorde y pavos producidos anualmente. Además, algunas de estas compañías son propiedad del mismo grupo. La industria porcina de cría tiene más empresas y cría de menor envergadura (como PIC y Monsanto), pero está siguiendo la misma tendencia. El reciente desembarco del gigante Monsanto en este sector es una clara indicación de dicha tendencia. Debido a la naturaleza competitiva del negocio y el alto nivel de inversión, las empresas «comerciales» de cría suelen estar a la vanguardia de la aplicación de tecnologías. Las empresas líderes están a punto

de incorporar información genómica en sus programas reproductivos, cuando aún muchos criadores se están planteando si el enfoque es factible.

Las actividades de estas empresas comerciales de cría presentan las siguientes características:

- La selección de pedigrí sólo se realiza en el núcleo.
- La selección se realiza estrictamente dentro de líneas especializadas (o razas). Dichas líneas se designan como líneas de sementales y de hembras reproductoras, y se seleccionan con intensidades distintas. En aves de engorde y en cerdos, las líneas de los sementales se seleccionan para crecimiento y producción de carne magra, en tanto que las líneas de las hembras se seleccionan para reproducción. Constantemente se desarrollan nuevas líneas ya sea por cruce entre líneas ya existentes o por selección en una determinada dirección.
- El producto final es un cruce entre dos o más líneas puras.

Por razones económicas, cada empresa criadora vende bajo diversas marcas (acumuladas por las adquisiciones y fusiones), pero de hecho solo disponen de un número limitado de productos diferenciados. En efecto, las empresas avícolas o porcinas de cría desarrollan líneas para cubrir unos cuantos objetivos reproductivos (dos o tres), que varían dependiendo de la proporción de su cuota de mercado y del grado de variación en los entornos productivos de sus clientes. Por ejemplo, un criador puede desarrollar una línea de rápido crecimiento y alta productividad para usarla en condiciones de alto insumo en las que un pienso de calidad superior permite la expresión de todo el potencial genético del animal, y otra línea más «robusta» para entornos más difíciles, pero con un rendimiento inferior respecto a los caracteres productivos.

5 Programas reproductivos en

PARTE 4

sistemas de bajo insumo**5.1 Descripción de sistemas de bajo insumo**

Una gran proporción del ganado mundial sigue estando en manos de pequeños productores y criadores de pastoreo. Dichos productores suelen tener un acceso limitado a los insumos externos y a los mercados de productos básicos. Y aunque localmente pueda haber insumos externos, suele haber poco dinero en efectivo para su compra.

Citando a LPPS y Köhler-Rollefson (2005):

«Los productos para venta directa suelen ser de importancia secundaria, especialmente en áreas marginales y remotas. Las razas tradicionales generan

todo un conjunto de beneficios que son más difíciles de aprehender y cuantificar que la producción de carne, leche, huevos o lana. Entre ellos cabe citar su contribución a la cohesión e identidad social, el cumplimiento de necesidades religiosas y rituales, su papel en el reciclado de nutrientes y en la provisión de energía, y su capacidad para funcionar como entidades de ahorro y caución contra sequías y otros desastres naturales».

El ganado propiedad de los pequeños ganaderos y criadores de pastoreo puede ser autóctono o provenir de antiguas introducciones de razas exóticas en la zona. Los ganaderos de corte tradicional no poseen conocimientos técnicos de genética y muchos son analfabetos.

Recuadro 84**Manejo ovino comunitario en los Andes peruanos**

La agricultura en los Andes centrales de Perú está gravemente limitada por las bajas temperaturas y la sequía, y la mayoría de hogares rurales dependen del ganado para su sustento. Las ovejas de pastoreo son la especie económicamente más importante, y se usan como fuente de alimento, como medio de obtener bienes por trueque, y para generar dinero en efectivo mediante la venta de animales vivos o lana. Se usan en menor medida para actividades culturales, entretenimiento y turismo. Las ovejas criollas representan el 60 % de la población ovina de Perú. Se suelen criar en granjas familiares y por ganaderos individuales, que valoran mucho la raza local. También existe otra raza, de utilidad doble, desarrollada a partir de un cruce entre oveja criolla y oveja Corriedale, importada de Argentina, Australia, Chile, Nueva Zelanda y Uruguay entre 1935 y 1954. Los campesinos ganaderos mantienen tanto la raza criolla como la compuesta.

En esta zona del Perú, las comunidades campesinas se han organizado independientemente para mejorar el manejo de sus ovejas, con poco apoyo por parte del gobierno. Son frecuentes las empresas comunales y multicomunales, las cooperativas así como las explotaciones familiares e individuales. Los ganaderos intercambian material genético, experiencias y tecnologías. Las empresas comunales y multicomunales tienen tasas productivas muy superiores a las de los ganaderos individuales. Han organizado con éxito programas participativos de mejora genética basados en programas de núcleo abierto, son eficientes técnicamente, mantienen los pastos en buen estado, y utilizan parte de sus beneficios para mejorar el bienestar social de sus miembros – por ejemplo, comprando materiales escolares, vendiendo leche y carne a precios módicos, y proporcionando asistencia a los ancianos.

Contribución de Kim-Anh Tempelman.
Para más información, véase: FAO (2007).

No obstante, poseen valiosos conocimientos locales sobre razas y su manejo. Tienen objetivos reproductivos y estrategias aunque estas no estén «formalizadas» por escrito. Por ejemplo, suelen compartir sementales (rara vez tienen más de uno de una especie concreta) con sus vecinos o con la comunidad entera.

En conclusión, formalizar la mejora genética en estas condiciones es una tarea difícil, pero claramente no es ni imposible ni inapropiada.

5.2 Estrategias reproductivas

Es importante recordar que sea cual sea la estrategia emprendida, solo tendrá éxito si se respetan determinadas condiciones. Respetar dichas condiciones no garantiza el éxito, pero no respetarlas conduce inevitablemente al fracaso. Los propietarios del ganado deben involucrarse tanto como sea posible, y preferiblemente desde el mismo inicio del programa. La estructura social de la región y los objetivos de los productores deben tomarse seriamente en consideración. Debe pensarse en todo el sistema, y no únicamente en un elemento del mismo. Por ejemplo, si se plantea un programa de cruzamiento en un área remota, es necesario garantizar que la progenie de los animales cruzados será viable en esas circunstancias.

El programa debe ser lo más sencillo posible. En algunos casos puede ser factible cruzar hembras individuales con machos de otras razas disponibles de zonas próximas, pero los programas que requieran el uso continuo de sementales de más de una raza no son factibles en sistemas de bajo insumo.

Estrategias reproductivas

Determinar los objetivos reproductivos es la tarea más importante y difícil de cualquier programa de mejora genética, y el margen de error es aún mayor en sistemas de bajo insumo. Las preguntas que deben responderse en dichas condiciones incluyen: ¿hay algo a cambiar, y qué es?, y ¿qué constituiría realmente una mejora en estas condiciones?

Un sistema de bajo insumo es también un sistema de bajo producto, pero ello no necesariamente significa baja productividad. En un sistema de bajo insumo, es incorrecto pensar en la mejora genética solo en términos de incrementos en caracteres productivos, como peso corporal, producción de leche o huevos, o peso del vellón. La eficiencia es también un criterio clave. Lamentablemente, se sabe aún poco de la mejora genética de la eficiencia intrínseca. Los incrementos de eficiencia se suelen medir en términos de incrementos de la eficiencia bruta. Los incrementos de eficiencia bruta observados en animales altamente productivos son debidos a que una menor proporción de la ingesta nutricional se usa para el mantenimiento, en tanto que una proporción correspondientemente más alta se usa para la producción. Ello no significa que el animal necesite menos pienso para alcanzar un determinado nivel de rendimiento.

Se ha propuesto la selección basada en la ingesta de pienso residual (RFI) como medio para mejorar la eficiencia intrínseca. Es este un criterio importante para todas las especies y todos los sistemas productivos. La selección genética para reducir la RFI puede llevar a animales que comen menos sin por ello reducir el crecimiento o el rendimiento productivo (Herd *et al.*, 1997; Richardson *et al.*, 1998). Por ejemplo, a diferencia del cociente entre ganancia ponderal e ingesta de pienso, el consumo residual de pienso es relativamente independiente del crecimiento. El RFI es, por tanto, un índice más sensible y preciso de la utilización de pienso (Sainz y Paulino, 2004).

Registro de datos en sistemas de bajo insumo

La ausencia de un programa de registro creíble y de recursos para conservación y manejo de los datos obstaculizan el desarrollo de programas reproductivos sostenibles en sistemas de bajo insumo. Gestionar una base de datos computerizada puede ser caro y requerir formación especializada. La falta de formación técnica y recursos económicos se ha identificado como el mayor obstáculo al establecimiento de sistemas sostenibles de registro en muchos países

PARTE 4

Recuadro 85

Mejora genética de una raza de ganado indígena –el ganado Boran de Kenya

La raza Boran, un ganado de tamaño medio originario de África oriental, es la que se cría más ampliamente para engorde en las zonas semiáridas de Kenya. Los ganaderos comerciales prefieren la Boran a las razas de *Bos taurus* debido a su relativa adaptabilidad al entorno local – conseguida a lo largo de generaciones seleccionadas natural y artificialmente en condiciones de alta temperatura ambiental, baja calidad del pienso, y numerosas enfermedades y parásitos. El material genético Boran se recomienda como medio de mejorar la producción de carne en otras razas indígenas y exóticas de los trópicos. Las exportaciones genéticas a Zambia, la República Unida de Tanzania, Uganda, Australia y Estados Unidos de América tuvieron lugar entre la década de 1970 y la de 1990. La exportación de embriones Boran a Zimbabwe y África del Sur se produjo entre 1994 y 2000.

Este potencial de mercado fue un incentivo para que los ganaderos mejoraran la raza. Hacia 1970, la raza Boran se había cruzado con *B. taurus*, luego se había retrocruzado, y se había hecho selección intrarracial (basada fundamentalmente en evaluaciones visuales guiadas por la experiencia). Durante la década de 1970 se inició un programa de registro. Los productores enviaban registros de rendimiento de sus animales de modo habitual a Centro de Registro Agropecuario (LRC) para la evaluación genética. Sin embargo, debido a la falta de rigor y a los retrasos en la devolución de los resultados de la evaluación, así como por los gastos asociados al registro, la mayoría de productores se retiraron del programa. En 1998, el Centro de Investigación Bovina Nacional inició un proyecto de pruebas de rendimiento en toros, para evaluar sementales de rebaños distintos. Sin embargo, las pruebas de rendimiento no pudieron mantenerse por falta de fondos.

Recientemente, se han desarrollado objetivos reproductivos para los sistemas productivos de la raza Boran. Los sistemas se clasifican según la edad de venta de los animales (24 o 36 meses), niveles de insumo (bajo, medio o alto), y objetivo final (carne o utilidad dual). Se han identificado caracteres de importancia económica, y se han calculado los parámetros genéticos de algunos

de ellos. Dichos caracteres incluyen el peso a la venta de terneros y terneras, porcentaje de rendimiento en canal, porcentaje de carne consumible, producción lechera en sistemas productivos de utilización dual, peso de la vaca, tasa de destete en vaca, tasa de supervivencia, tasa de supervivencia postdestete, e ingesta de pienso en terneros, terneras y vacas.

La mejora genética de la raza Boran de Kenya se ha facilitado merced a la Asociación de Criadores de Ganado Boran (BCBS). La pertenencia a la asociación se limita a los ganaderos que crían ganado Boran, y a otras partes interesadas. Actualmente, las actividades de la asociación se concentran en la administración, en el mantenimiento de los estándares de la raza, y en la búsqueda de nuevos mercados para carne y material genético. Los ganaderos siguen siendo independientes en lo que respecta a la selección y mejora genética. El trueque ocasional de material genético entre rebaños para evitar la consanguinidad es probablemente la única forma de interacción entre granjas. En la mayoría de explotaciones, la selección se concentra en gran medida en pesos al destete e intervalo entre partos. Para evaluar a sus animales, algunos ganaderos han adquirido programas informáticos que les permiten reorientar el registro de rendimiento en sus granjas para adaptarse a sus objetivos de manejo.

La BCBS es una de las asociaciones de criadores más activas de Kenya. Actualmente no recibe subvenciones económicas, pero mantiene una cooperación estratégica con el LCR, que conserva y evalúa registros de rendimiento para los productores que siguen participando en el programa de registro. La BCBS también coopera con el Sistema Nacional de Investigación Agrícola en el intercambio de información – especialmente en nutrición y reproducción. También está en marcha la investigación dirigida a desarrollar programas apropiados de mejora genética para el ganado Boran, actualizando los ya existentes.

Contribución de Alexander Kahi.

Para más información sobre ganado Boran y la BCBS, véase: <http://www.borankenya.org>

Recuadro 86**Un programa reproductivo de llamas en Ayopaya, Bolivia (Estado Plurinacional de)**

En la altiplanicie andina de Bolivia, la cría de llamas forma parte integral de la ganadería mixta practicada por las familias rurales. Las llamas proporcionan a sus propietarios estiércol, carne y fibra; se usan como animales de carga y también desempeñan un importante papel social. Las llamas, como especie autóctona, contribuyen a mantener el equilibrio ecológico del frágil ecosistema local. Existen dos tipos principales de llama, el tipo «Kh'ara», y el tipo lanudo conocido como «Th'ampulli».

La región de Ayopaya (departamento de Cochabamba) donde se desarrolla el programa reproductivo está situado entre 4 000 y 5 000 metros por encima del nivel del mar en la Cordillera Oriental de los Andes. Debido a las condiciones geográficas y a la elemental infraestructura, la región es de difícil acceso.

En 1998, se inició un programa reproductivo conjunto para llamas por parte de la asociación de productores locales, formada por 120 miembros, llamada ORPACA (Organización de Productores Agropecuarios de Calientes), la ONG ASAR (Asociación de Servicios Rurales y Artesanales) y dos universidades (Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, y la Universidad de Hohenheim, Alemania). La financiación inicial corrió a cargo de

Llamas en la región de Ayopaya

Fotografía: Michaela Nürnberg

Sujetando llamas para el transporte

Fotografía: Michaela Nürnberg

las instituciones mencionadas. La continuidad del programa depende de manera crítica de que se obtenga financiación externa.

Como primer paso, se estudió el sistema productivo mediante observación participativa y el uso de cuestionarios. También se caracterizó el fenotipo de 2 183 llamas del tipo Th'ampulli. El proceso reveló que las llamas poseen fibra de una calidad extraordinariamente alta – 91,7 % de fibra fina con un diámetro medio de 21,08 μm . Esta calidad de fibra es desconocida en otras poblaciones de llamas de Bolivia. Los animales, por tanto, representan un recurso genético único y singular. A partir de conversaciones con representantes de la industria textil y del comercio se pudo obtener información del potencial económico del vellón. Se registró el rendimiento de las llamas identificadas y se calcularon sus parámetros reproductivos. En 1999 se abrió en Calientes un centro de apareamiento dirigido por ASAR al que los miembros de ORPACA llevan a sus hembras para la monta. Los sementales seleccionados se estabulan en dicho centro durante la temporada del celo. La evaluación fenotípica de los machos identifica animales con un color uniforme del vellón; espalda, patas y cuello rectos; testículos de igual

• continúa

PARTE 4

Recuadro 86 *cont.*

Un programa reproductivo de llamas en Ayopaya, Bolivia (Estado Plurinacional de)

tamaño y no demasiado pequeños; y ausencia de defectos congénitos. El centro de apareamiento sirve a seis comunidades en un radio de 15 km. Ganaderos entrenados registran los datos de rendimiento de la progenie.

Las funciones de las llamas y los objetivos reproductivos se registran, ordenan y valoran conjuntamente con los ganaderos. En un proceso escalonado, el programa reproductivo se adapta a las preferencias de los ganaderos, las condiciones del mercado, y las limitaciones biológicas. Aún no se ha podido evaluar la mejora genética debido al largo intervalo generacional de las llamas.

Fuentes: Angelika Stemmer, André Markemann, Marianna Siegmund-Schultze, Anne Valle Zárate.

Se puede obtener más información en las fuentes siguientes: Alandia (2003); Delgado Santivañez (2003); Markemann (próximamente); Nürnberg (2005); Wurzinger (2005), o de: Prof. Dr Anne Valle Zárate, Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos, Universidad de Hohenheim, 70593 Stuttgart, Alemania.
E-mail: inst480a@uni-hohenheim.de

Rebaño de llamas (de Emeterio Campos) en la región de Ayopaya



Fotografía: André Markemann

Mediciones lineales en llamas



Fotografía: Javier Delgado

Desparasitación durante la selección de sementales en Milluni



Fotografía: André Markemann

Recuadro 87**Criterios reproductivos de los criadores de pastoreo – reflexiones de un miembro de la comunidad**

Los criadores de pastoreo de África oriental del núcleo⁴ Karamoja crían una gama de ganado que incluye ganado bovino cebú, cabras Small East African, ovejas Persian Black Head, asnos grises y dromedarios marrón claro. Algunos crían también gallinas autóctonas. El ganado se utiliza de maneras diversas, que incluyen el alimento; son una fuente de riqueza, y moneda de cambio para procurarse otras mercancías básicas; una fuente de entretenimiento y prestigio; un medio para pagar deudas, multas e indemnizaciones; un modo de transporte y tracción agrícola; una fuente de pieles y fibras; y una fuente de estiércol para combustible, abono o material constructivo. El ganado desempeña muchas funciones culturales, como cuando se cede a la familia de la novia en el matrimonio. También se sacrifica en muchos rituales: nacimientos, funerales, el inicio de la trashumancia, impetrar la lluvia, impedir el mal de ojo, las epidemias o el ataque del enemigo, ceremonias de purificación, o la curación de una dolencia por prescripción de un especialista local en plantas medicinales.

Los criterios para las decisiones reproductivas son polifacéticos, y reflejan la interacción de factores sociales, económicos y ecológicos. Incluyen no solo la productividad, sino también el gusto de la carne, la sangre y la leche; temperamento agradable; color de la piel; necesidades religiosas; resistencia a enfermedades y parásitos; instintos maternos; tolerancia a las sequías; supervivencia con alimentación escasa; y tolerancia a los extremos de temperatura o precipitaciones.

Criterios para las decisiones reproductivas (en orden de importancia)

Los toros reproductores deben tener las siguientes características:

- son activos y ágiles – para poder montar a todas las hembras del rebaño dentro de un determinado período de cría (se considera que dichos toros toleran las enfermedades y los parásitos, y que cualquier enfermedad se les detecta fácilmente);
- producen descendencia que puede mantener su peso corporal (y la producción de leche en las hembras), incluso durante períodos de carestía;
- tienen un peso y talla corporal grandes – lo cual es importante para la comercialización y el status, pero no son demasiado pesados para poder cumplir sus funciones reproductivas;
- son altos, con ancho tórax y espalda recta – de nuevo para poder cumplir funciones reproductivas;
- tienen el color de la piel o la configuración de los cuernos que les identifica con el propietario⁵ o la comunidad;
- tienen un color y calidad de la piel que les hace adecuados para la comercialización u otros usos;
- tienen buen temperamento - agresivos⁶ contra los depredadores, pero no con otro ganado o con humanos;

• continúa

⁴ «El núcleo Karamoja»: La totalidad del pueblo Ateker en Uganda, Kenya, Etiopía y Sudán que generalmente comparten una vida en común. Pueblo «Ateker»: (también llamado «Ngitunga/Itunga» = el pueblo). El pueblo con un origen común que vive en Uganda (Ngikarimjong incluyendo Pokot, Iteso), Kenya (NgitTurukana; Itesio, Pokot); Etiopía (NgNyangatom/ Ngidongiro) y en Sudán (Ngitoposa) y sus vecinos, que hablan lenguas similares y se refieren a sus clanes como Ateker (plural Ngatekerin/Atekerin). Algunos clanes del pueblo Ateker están diseminados por todo el núcleo Karamoja.

⁵ Los criadores de pastoreo también basan su propio nombre en el color o configuración de los cuernos de sus toros favoritos. Esto es típico en el Núcleo Karamoja. Dichos nombres llevan el prefijo Apa- que significa «el propietario del toro con determinado color o configuración del cuerno». Por ejemplo, el nombre «ApaLongor» significa «el hombre con un toro de color marronoso». El semental favorito recibe muchos favores de su propietario, como ser adornado con un cencerro, o ser tratado rápidamente si cae enfermo.

⁶ La agresión indiscriminada es inaceptable en el ganado, aunque otros caracteres sean favorables.

PARTE 4

Recuadro 87 cont.

Criterios reproductivos de los criadores de pastoreo – reflexiones de un miembro de la comunidad

- los toros criados para engendrar animales de tiro deben tener un gran peso corporal, y ser fuertes y manejables;
- los toros reproductores deben permanecer en el rebaño del propietario, apacentar bien, y no ser amantes del vagabundeo ni ser pendencieros con otros toros.

Las hembras reproductoras deben tener las siguientes características:

- tienen una producción lechera estable que no solo sea sabrosa y tenga un buen contenido en grasa, sino que también pueda mantener un crecimiento rápido y sano de la descendencia;
- paren regularmente y producen descendencia de crecimiento rápido;
- toleran la enfermedad, el calor, el frío, y las sequías prolongadas;
- sobreviven con poco alimento y mantienen la producción de leche, particularmente en la estación seca cuando la cantidad y calidad de alimento son bajas;

- la ubre debe ser ancha y los pezones siempre completos;
- son dóciles con los humanos y el resto del ganado, pero agresivas con los depredadores;
- el ganado pequeño (cabras, ovejas) debe parir gemelos⁷ regularmente.

El mundo debería agradecer el papel que desempeñan los criadores de pastoreo en el uso sostenible de sus razas tan singularmente adaptadas. No solo proporcionan estos animales alimento y seguridad económica a sus propietarios, sino que también contribuyen al mantenimiento de la diversidad genética, siendo por tanto un recurso para futuros programas de mejora genética. A este respecto, los criadores de pastoreo necesitan un apoyo adecuado de los servicios ganaderos que proporcionan los gobiernos nacionales, las organizaciones de la sociedad civil y la comunidad internacional.

Fuente: Thomas Loquang (miembro de la comunidad pastoril de Karimojong).

Para más información, véase: Loquang (2003); Loquang (2006a); Loquang (2006b); Loquang y Köhler-Rollefson (2005).

africanos (Djemali, 2005). Los constantes avances de la tecnología informática significan que los dispositivos de registro son cada vez más baratos y ofrecen un mayor potencial para el registro animal en sistemas de bajo insumo. El uso de dispositivos manuales, ordenadores portátiles e Internet facilitarían a pequeños grupos humanos la recogida y transmisión de grandes volúmenes de datos de ubicaciones remotas a una base de datos centralizada. Dicha base de datos podría instalarse en una universidad o departamento gubernamental. Proporcionar facilidades de este tipo sería un modo de que gobiernos o agencias donantes pudieran ayudar al desarrollo de programas reproductivos en sistemas de bajo insumo en países en desarrollo.

Programas de mejoramiento

Si el cambio genético está justificado, ¿cómo puede conseguirse? Hay que optar entre la cría directa o el cruzamiento, pero elegir la opción adecuada dista de ser sencillo.

En sistemas de bajo insumo, la adaptación al medio ambiente es una condición previa para mejorar la eficiencia. Es este un tema de gran importancia, ya que la intervención para reducir el estrés medioambiental (alimentación suplementaria, desparasitaciones u otros insumos

⁷ Obsérvese que es tabú que pequeños rumiantes den a luz gemelos en el primer parto. Esto sólo se admite en partos posteriores. Igualmente, es tabú para el ganado bovino parir gemelos ya sea en el primer parto o en los siguientes. Si se dan estas situaciones los animales son sacrificados por lapidación o a golpes. Se afirma que en esta situación el animal se ha convertido en bruja y debe ser prontamente eliminado.

Recuadro 88**El cebú Bororo de los WoDaaBe en Níger – selección para fiabilidad en un entorno extremo**

Este ejemplo se refiere a la cría de ganado en un sistema de pastoreo especializado en Níger. Los WoDaaBe son ganaderos a dedicación plena. La comercialización de su ganado es la piedra angular de su estrategia vital. Sus rebaños constituyen una proporción sustancial de las exportaciones nacionales de ganado, particularmente en los grandes mercados de Nigeria, donde el ganado Bororo se vende con recargo.

«Entorno extremo» se refiere aquí a una combinación de un ecosistema hostil caracterizado por sucesos estocásticos con un acceso comparativamente difícil tanto a recursos primarios como a insumos externos. Los ganaderos WoDaaBe explotan un territorio semiárido caracterizado por precipitaciones erráticas e impredecibles. En un año normal, solo hay hierba fresca durante dos o tres meses en cualquier localidad. El acceso al forraje, agua y servicios exige un cierto grado de poder adquisitivo, así como capacidad negociadora con los agentes económicos vecinos que compiten por dichos recursos. Los WoDaaBe suelen estar en la parte más débil de dichas transacciones.

Se ha propuesto que el concepto de «fiabilidad» es la clave para comprender las estrategias de manejo de los criadores de pastoreo en dichas circunstancias (Roe *et al.*, 1998). Los sistemas de pastoreo de «alta fiabilidad» se orientan al manejo activo de los riesgos más que a su evitación, con el objetivo de garantizar un flujo continuo de producción agropecuaria. En dichos sistemas, la cría debe estar estrechamente interconectada con el entorno y la estrategia productiva. El objetivo principal de los WoDaaBe consiste en maximizar la salud y capacidad reproductiva del rebaño durante todo el año. Su sistema de manejo se centra en conseguir que los animales coman la mayor cantidad posible de la dieta más nutritiva posible durante todo el año (cf. FAQ, 2003). Ello implica mano de obra especializada, concentrada en gestionar la diversidad y variabilidad tanto de los pastos como de las capacidades del ganado.



Fotografías: Saverio Krättli

El valor nutricional de los pastos se maximiza trasladando el rebaño hacia zonas que muestran una heterogeneidad en la distribución espaciotemporal del forraje. Además, se fuerza la capacidad de alimentación de los animales más allá de su nivel natural. Aunque la capacidad de alimentarse posee en parte una base genética (p. ej., el sistema

• continúa

PARTE 4

Recuadro 88 *cont.***El cebú Bororo de los WoDaaBe en Níger – selección para fiabilidad en un entorno extremo**

enzimático o el tamaño y conformación de la boca), también puede modificarse mediante el aprendizaje, en base a la experiencia individual y la imitación de sus iguales sociales (p. ej., la búsqueda eficiente de pastos y las preferencias alimentarias). La motivación de los animales para alimentarse se manipula optimizándoles su retroalimentación digestiva, y garantizando una óptima calidad del forraje en condiciones preferenciales. Se prefiere una dieta cuidadosamente diversificada de gramíneas y ramoneo, para corregir desequilibrios nutricionales que, sobre todo durante la estación seca, podrían reducir la motivación para alimentarse desencadenando una retroalimentación digestiva negativa. El régimen de consumo de agua durante la estación seca está también ajustado para afinar y perfeccionar el rendimiento digestivo del ganado y cubrir el objetivo estratégico a largo plazo de los ganaderos que es maximizar la reproducción.

La estrategia productiva es muy exigente tanto para el personal como para el rebaño. Al inicio de la temporada seca, mientras que otros grupos pastoriles que comparten el mismo ecosistema se trasladan a abrevaderos más cercanos, donde el agua es más accesible pero los pastos son más pobres, los WoDaaBe se trasladan en dirección opuesta, situando sus campamentos cerca de forrajes de primera calidad. Esto implica una movilidad en grandes distancias y un régimen de abrevado que, en el cénit de la estación cálida, suele obligar a trayectos de 25-30 kilómetros para llegar al abrevadero, siendo la frecuencia de consumo de agua del rebaño de una vez cada tres días.

Resulta, por tanto, esencial para la estrategia productiva de los WoDaaBe que se mantengan las pautas conductuales funcionales en el rebaño. Por consiguiente, su sistema de cría se centra en fomentar la organización social y la interacción en el seno del rebaño. Potencia la competencia alimentaria de los animales compartiéndola en toda la red reproductiva, e intenta garantizar la continuidad genética y «cultural» de las estirpes con mayor éxito dentro de la red. Dichas estirpes han logrado prosperar bajo el sistema de manejo del rebaño de los WoDaaBe, y durante un período suficientemente largo para haber incluido episodios

de estrés grave. La estrategia reproductiva se centra en garantizar la fiabilidad del rendimiento reproductivo de rebaño, más que en maximizar el rendimiento individual de caracteres específicos.

La reproducción se realiza por apareamiento selectivo de vacas con sementales comparables, y mediante una política de comercialización que descarta las vacas improductivas. Se usa menos del 2 % de machos para la reproducción. La estrecha observación del rebaño permite detectar los celos tempranamente, y asegura que más del 95 % de los nacimientos sean resultado de apareamientos con machos seleccionados. Se utiliza un semental diferente para casi cada estro de una vaca concreta, con un índice global de un semental por cada cuatro nacimientos. Los sementales con pedigrí se prestan en grandes redes de ganaderos (a menudo emparentados entre sí). El préstamo de sementales es práctica común (y afecta a casi la mitad de los nacimientos) aun cuando un ganadero posea sementales de pedigrí propios. Los apareamientos con sementales sin pedigrí, propios o prestados, afecta al 12 % de los nacimientos. Ambas prácticas se mantienen explícitamente para conservar la variabilidad. Los ganaderos suelen recordar las genealogías matrilíneas y el semental de cada animal del rebaño, así como los pedigríes de sementales especiales, la identidad de todos los sementales prestados y sus propietarios.

La productividad de una vaca depende en gran medida de lo bien que responda el animal al sistema de manejo. Adoptando una estrategia productiva que manipula la experiencia del ecosistema por parte del animal, el ganadero expone a sus animales a diversos entornos naturales que incluyen determinadas combinaciones de condiciones favorables y desfavorables en la búsqueda de agua y alimentos. En el transcurso de los años, algunas vacas prosperan y producen una abundante progenie, en tanto que otras mueren o son vendidas. De este modo, los WoDaaBe consiguen encauzar la presión selectiva natural para sus propios fines reproductivos.

Fuente: Saverio Krätli.
Para más información, véase Krätli (2007).

Recuadro 89**Programas reproductivos comunitarios en razas porcinas locales del Norte de Viet Nam**

En las zonas montañosas del Viet Nam noroccidental, los programas de cría y gestión ganadera pueden contribuir a mejorar las condiciones de vida rural si se respetan los objetivos productivos, la intensidad y la disponibilidad de recursos de los sistemas de explotación mixta en las pequeñas granjas de la zona, pobre en recursos. El cerdo Ban local posee una robustez considerable, pero su rendimiento reproductivo es bajo y su crecimiento lento, y está siendo sustituido por las cerdas Mong Cai vietnamitas del Delta del Río Rojo, de rendimiento superior.

En un proyecto de colaboración entre el Instituto Nacional de Ganadería (NIAH) y la Universidad de Hohenheim, Alemania⁸, se han establecido programas reproductivos porcinos comunitarios en siete pueblos, distintos en cuanto a su grado de aislamiento y acceso a los mercados.

En los programas participa actualmente un total de 176 familias. Se han desarrollado programas de prueba de rendimiento en cada granja. A los campesinos se les facilitan formularios en los que registran el rendimiento de sus cerdos (básicamente fecha del parto y número de lechones). Los investigadores vietnamitas y alemanes comprueban los datos y recogen información adicional pesando e identificando a los animales cuando visitan los pueblos. Ganaderos especialmente formados introducen los datos en el banco de datos del proyecto utilizando el programa informático PigChamp[®] y los investigadores analizan los datos.

Los granjeros vietnamitas suelen recibir dinero por participar en los proyectos; en el caso de este proyecto, dichas remuneraciones se están reduciendo gradualmente. Los resultados se comunican a los ganaderos en seminarios o módulos de formación, y se utilizan para optimizar la cría (selección de cerdas nulíparas y optimización de los planes de apareamiento). Para garantizar la sostenibilidad a

largo plazo, los socios locales, como las delegaciones del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (DARD) y del Ministerio de Salud Animal de la provincia de Son La, están activamente implicados y formados. La cooperación con los servicios de extensión provincial se fortalecerá en la actual fase del proyecto. En fases anteriores, la fuerte orientación del servicio hacia un manejo intensivo en regiones favorecidas significaba que los intercambios eran limitados. El apoyo económico para el futuro del proyecto parece estar asegurado gracias al mandato oficial del NIAH para llevar a cabo proyectos de conservación de los recursos zoológicos. Además, el elemento de comercialización del proyecto actual está concebido para garantizar su viabilidad económica a largo plazo.

Los resultados iniciales de las pruebas de rendimiento indican que la Mong Cai y su progenie cruzada (engendrada por sementales exóticos) está más adaptada a condiciones productivas semiintensivas y orientadas al mercado, en zonas donde se pueden conseguir los altos niveles de insumos necesarios para una mayor producción. Parece ser menos robusta en los duros climas de las tierras altas y en condiciones de intensidad baja y de insumos variables. Los cerdos Ban solo son adecuados para condiciones extensivas de ganadería de escasos recursos y orientada a la subsistencia. A medida que el proyecto avanza, se hacen esfuerzos para desarrollar objetivos reproductivos estratificados, y para poner en marcha programas de comercialización. En las proximidades de las ciudades, se produce carne magra a partir de la progenie cruzada de las cerdas Mong Cai. La producción de cerdos Ban prosigue en zonas más alejadas con animales puros o cruzados que se venden como una especialidad de marca – contribuyendo a la «conservación por el uso» de esta raza local.

• continúa

⁸ Financiado por la Sociedad Alemana de Investigación (DFG) en el marco del programa cooperativo de investigación alemán-vietnamita-tailandés SFB 564 y por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, Viet Nam.

PARTE 4

Recuadro 89 cont.

Programas reproductivos comunitarios en razas porcinas locales del Norte de Viet Nam

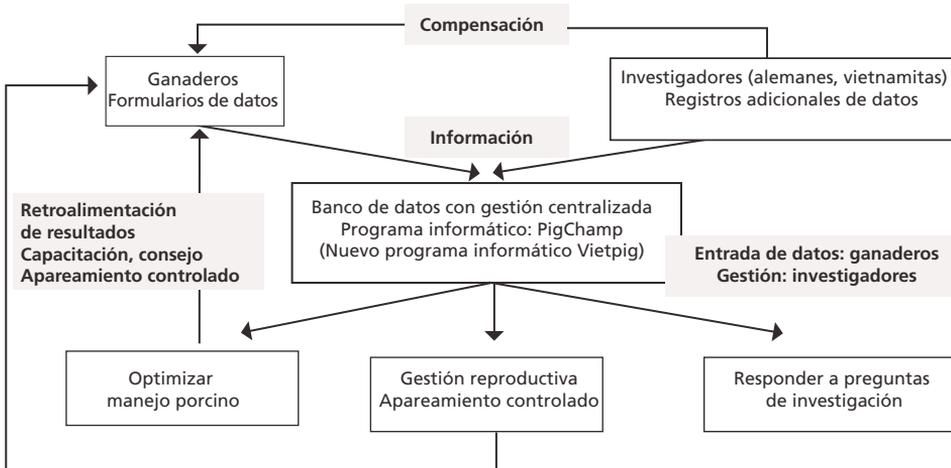


Cerda Mong Cai



Fotografías: Ute Lemke

Establos de engorde para cerdos Ban



• continúa

Recuadro 89 cont.

Programas reproductivos comunitarios en razas porcinas locales del Norte de Viet Nam

Cerdos en el distrito de Song Ma



Fotografía: Pham Thi Thanh Hoa

Pesaje de cerdos en Pa Dong, distrito de Mai Son



Fotografía: Regina Rößler

Fuentes: Ute Lemke y Anne Valle Zárate.

Se puede obtener más información de las fuentes siguientes: Huyen et al. (2005); Lemke, (2006); Rößler. (2005), o de: Prof Dr Anne Valle Zárate, Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos, Universidad de Hohenheim, 70593 Stuttgart, Alemania. E-mail: inst480a@uni-hohenheim.de

de manejo) no suele ser asequible. En dichas circunstancias, la cría directa para mejorar las razas indígenas bien adaptadas puede ser una opción. Instaurar un programa de cría directa es una empresa a largo plazo, que exige considerables recursos, buena organización, y (sobre todo) el compromiso de todas las partes interesadas. Dichas condiciones rara vez se dan en sistemas de bajo insumo en el mundo en desarrollo, y los programas existentes son de ámbito muy limitado. Por ejemplo, la mayor parte de la cría controlada de la cabra West African Dwarf se ha realizado en institutos de investigación (concretamente en los de Nigeria) (Odubote, 1992).

El cruzamiento con una raza exótica puede parecer un medio más rápido de mejorar el rendimiento con un aumento mínimo de los insumos. Sin embargo, el mayor rendimiento de los animales cruzados se acompaña de unas mayores exigencias nutricionales y de manejo (control de enfermedades, estabulación, etc.). Por consiguiente, cualquier sistema que incorpore

animales cruzados de alto rendimiento necesitará (entre otras cosas) más recursos alimentarios – que en muchos casos solo se pueden conseguir criando un menor número de animales.

Si, tras un análisis cuidadoso, se considera que el cruzamiento es una mejor opción que la cría directa de la raza local, debe desarrollarse un programa que pueda mantenerse con los insumos disponibles localmente. El cruzamiento con una raza exótica (no adaptada) presenta dificultades específicas. Aun cuando los animales F1 estén suficientemente adaptados, los machos exóticos puros estarán generalmente bajo estrés ambiental, lo cual resultará a menudo en una vida reproductiva reducida. Y aunque el macho de la raza exótica se pueda mantener con éxito, el retrocruzamiento resultante de aparear hembras F1 con los machos exóticos carecerá casi siempre de una adecuada adaptación a la zona. Por tanto, las hembras F1 deberían aparearse con sementales de la raza adaptada.

PARTE 4

En dichas circunstancias, una opción consiste en utilizar machos F1, generación tras generación. En este sistema, las hembras locales originales se aparean con machos F1, generando progenie que será $\frac{1}{4}$ exótica. Dichas hembras cuarteronas se aparean, a su vez, con machos F1, produciendo hembras $\frac{3}{8}$ exóticas. Al cabo de unas cuantas generaciones, los animales estarán cerca de ser $\frac{1}{2}$ exóticos. Dicho sistema introduce influencia exótica en la población, pero nunca utiliza o produce animales que sean más de la mitad exóticos.

Otra opción para el cruzamiento en sistemas de bajo insumo es cruzar razas distintas que estén bien adaptadas a las condiciones productivas. La ventaja evidente de dichos programas es la capacidad de mantener y

producir el ganado reproductor en la zona sin insumos adicionales. Sería lógico suponer que dichos cruces darán lugar a animales menos productivos y/o presentarán menos heterosis que los cruces entre una raza local y otra exótica. Sin embargo, Gregory *et al.* (1985) calculan que la heterosis por peso de ternero destetado por vaca es del 24 % en cruces de Boran y Ankole, y del 25 % entre Boran y cebú Small East African.

En cualquier programa de cruzamiento es importante considerar el sistema en su conjunto y todos los productos obtenidos. Al comentar el valor del cruce entre la vaca lechera europea y la vaca cebú F1 para la producción lechera en los trópicos, LPPS y Köhler-Rollefson (2005) afirman «en la India, muchos propietarios de vacas cruzadas no les ven utilidad a los terneros, y los dejan morir».

Recuadro 90 El costo de la heterosis

En ocasiones se ha definido la heterosis como una oportunidad gratuita de aumentar la rentabilidad. Aunque pueda valer más de lo que cuesta, la heterosis no es gratuita. Implica por lo menos dos tipos de costos.

En primer lugar, está el costo de un mayor requerimiento nutricional para cubrir el rendimiento adicional. El mayor rendimiento del animal cruzado tiende a reducir el costo por unidad de producción, ya que el costo de mantenimiento representa una fracción menos del requerimiento total, pero la producción extra también tiene su costo.

Un segundo tipo de costo está asociado a cambios potenciales en la estructura poblacional. Dichos costos pueden incluir: 1) reducciones del tamaño (y aumento correspondiente del nivel de endogamia) de la población pura original que se produce debido a la necesidad de incluir a la población cruzada y 2) una menor oportunidad de seleccionar para productividad en las hembras en una población en la que las hembras cruzadas no se consideran candidatas a la selección (como en cualquier sistema con semental terminal).

Recuadro 91 Programa de mejora avícola en pueblos de Nigeria

Hacia 1950 se inició en Nigeria un Programa de Mejora Avícola en Pueblos pensado para mejorar la raza indígena de gallina con razas exóticas mejoradas (Rhode Island Red, Light Sussex y Australorp) (Anwo, 1989). La estrategia consistía en sacrificar selectivamente a todos los machos indígenas y sustituirlos por las razas importadas mejoradas en un llamado «programa de intercambio de gallos» (Bessei, 1987). El plan fracasó porque los polluelos cruzados, aunque de mejor rendimiento, no pudieron sobrevivir en el sistema de producción extensivo semisalvaje de patio en el que se criaban las gallinas indígenas. Otro gran problema fue que la sustitución de la raza condujo a una rápida pérdida de variación genética y empobrecimiento de los recursos zogenéticos disponibles.

Recuadro 92

Un programa comunitario y participativo de cruzamiento de cabras de leche en un sistema de bajo insumo en pequeñas explotaciones ganaderas en las tierras altas orientales de Kenya

El proyecto Meru de FARM Africa en Kenya es un ejemplo de programa de cruzamiento completo y flexible. Ganaderos muy pobres, con ingresos inferiores a USD 1 por persona y por día han mejorado los genotipos de sus cabras y han adoptado mejores prácticas ganaderas. Las cabras locales (Galla y East African) resultaban difíciles de mantener en explotaciones pequeñas y de tamaño decreciente (0,25 a 1,5 acres), y los granjeros habían comenzado a abandonar la producción de cabras. Por consiguiente, el objetivo del programa de cruzamiento era proporcionar animales más dóciles y productivos. Se importaron del Reino Unido 68 hembras y 62 machos British Toggenburg y se cruzaron con cabras indígenas: las Toggenburg proporcionaban el potencial lechero y las locales la adaptabilidad. Las pruebas previas habían indicado que las Toggenburg estaban mejor adaptadas que otras razas lecheras exóticas, como la Saanen o la Anglo-Nubian.

El proyecto adoptó un enfoque grupal y comunitario. Los propios granjeros establecieron las reglas del proyecto, el reglamento y los mecanismos. Estaba vinculado al gobierno, a NARS, y a instituciones internacionales de investigación, que

proporcionaban formación en zootecnia (estabulación, nutrición, producción de forraje, mantenimiento de registros, atención sanitaria), dinámica de grupo, comercialización y capacidad emprendedora.

Los grupos de granjeros comprendían inicialmente entre 20 y 25 miembros, pero con el tiempo, algunos perdieron miembros y otros los ganaron. Cuatro de dichos grupos se vincularon entre sí para formar una unidad (por razones fundamentalmente administrativas y de monitorización) que tras la elección de representantes se convirtió en la Asociación de Criadores de Cabras Meru (MGBA). Se proporcionaban pequeñas unidades reproductivas (un macho y cuatro hembras) a un miembro del grupo (como préstamo que debía devolverse en especies), y este producía las Toggenburg (T) necesarias para la línea reproductiva. A cada grupo de granjeros se le proporcionaba un macho Toggenburg puro, que se estabulaba aparte, y era mantenido por otro miembro del grupo. Las cabras locales se llevaban al establo del semental para la monta. Las hembras cruzadas F1 resultantes se retrocruzaban con machos Toggenburg no emparentados y producían animales $\frac{3}{4}$ Toggenburg y $\frac{1}{4}$ Locales (L). Dicha progenie se

Estadísticas del proyecto entre 1996 y 2004

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nuevos grupos de ganaderos	10	34	20	6	12	10	7	18	8
Nuevos centros de monta	10	34	10	11	6	16	14	3	22
Nuevas unidades reproductoras	5	20	25	10	12	6	2	4	7
Número de montas		809	1 994	3 376	3 936	3 892	3 253	5 660	6 500
Número de familias participantes	250	1 100	1 125	1 400	1 550	1 700	2 050	2 050	2 650
Número de ejemplares cruzados		990	2 894	3 241	3 817	3 736	4 187	5 865	7 200

Fuente: Proyecto FARM-Africa de Cabras de Leche y Salud Animal; informes bianuales enero de 1996-junio de 2004.

• continúa

PARTE 4

Recuadro 92 *cont.*

Un programa comunitario y participativo de cruzamiento de cabras de leche en un sistema de bajo insumo en pequeñas explotaciones ganaderas en las tierras altas orientales de Kenya

evaluaba, y se seleccionaban los machos superiores para crear nuevas instalaciones de monta, en donde se apareaban con hembras no emparentadas de similar composición genética ($\frac{3}{4}$ T y $\frac{1}{4}$ L). Las pruebas iniciales habían demostrado que dichas hembras producían cantidades suficientes tanto de leche como de carne, y que estaban razonablemente adaptadas a las condiciones locales. A través del MGBA, que también registraba los animales cruzados en el Libro de Sementales de Kenya, los grupos de granjeros rotaban los sementales cada 1 a 1,5 años para evitar la consanguinidad. Los ganaderos que deseaban acercarse aún más al estándar Toggenburg podían hacerlo mediante retrocruces de las hembras $\frac{3}{4}$ T con machos T puros no emparentados.

Dos años después del inicio de FARM-Africa el número de grupos operativos ha seguido creciendo. En 2006 el MGBA tiene 3 450 miembros, y todos ellos crían cabras mejoradas que producen entre 1,5 y 3,5 litros de leche diariamente. El grupo produce unos 3 500 litros de leche diarios, y una cierta proporción se procesa y envasa para su venta. Las familias miembros tiene en propiedad más de 35 000 cabras mejoradas, de las cuales un 30 % disponen de registros de pedigrí y de rendimiento. Los registros de rendimiento se usan para calcular las tasas de crecimiento y la producción lechera. Anteriormente estos datos eran procesados por FARM-Africa. A medida que el proyecto ha ido concluyendo, se ha animado a la MGBA a establecer colaboraciones con universidades e instituciones de investigación para que les ayuden en el procesado de los datos. La mayoría de los propietarios de las cabras mejoradas ya no son «pobres». Algunos han utilizado los beneficios de la producción caprina para adquirir una o dos vacas lecheras, construirse mejores

viviendas y educar a sus hijos. La producción de yogur y leche fresca pasteurizada (con un valor añadido) es indicativa de la posibilidad de avances ulteriores.

Las características que llevaron al éxito del programa incluyen:

- un enfoque basado en el granjero desde un buen principio;
- poner el acento en la formación, de modo que los propios ganaderos puedan manejar el programa;
- disponibilidad de material reproductivo producido localmente;
- enfoque grupal – los granjeros se forman entre sí e intercambian experiencias;
- formación del personal de extensión, mensajes de extensión centrados en los granjeros, y enfoques participativos; y
- establecimiento comunitario de unidades reproductoras y centros de monta.

El programa ha logrado que, al final del «proyecto», los granjeros no dependan de los servicios gubernamentales. Los propios granjeros suministran el ganado reproductor, y también se ha establecido un servicio paralelo de salud animal formando trabajadores sanitarios de la propia comunidad, vinculados a paraveterinarios y veterinarios titulados. También se ha establecido un programa de forrajes y reforestación.

Fuentes: Okeyo Mwai y Camillus O. Ahuya. Para más información, véase Ahuya *et al.* (2004); Ahuya *et al.* (2005); Okeyo (1997).

6 Mejoramamiento en el contexto de la conservación

Los programas de conservación de los recursos zoológicos se presentan en mayor detalle en otras partes de este informe. El comentario siguiente se centra, por tanto, en aspectos reproductivos que deben tenerse en cuenta cuando se plantean medidas de conservación. Un programa de conservación puede limitarse simplemente a garantizar la supervivencia de una población mediante la monitorización y mantenimiento de su integridad, o puede también tener como objetivo mejorar el rendimiento de dicha población.

6.1 Metodología para monitorizar poblaciones pequeñas

La FAO ha publicado diversos informes sobre el manejo de pequeñas poblaciones en riesgo – véase por ejemplo FAO (1998). Dichos documentos proporcionan una revisión más extensa del tema. Si el objetivo es meramente garantizar la supervivencia de la población y el mantenimiento de su integridad (como población pura), la estrategia de conservación se limita a monitorizar la población, y a controlar que el grado de consanguinidad y el tamaño efectivo de la población estén dentro de límites aceptables.

La endogamia o consanguinidad es la consecuencia de aparear animales emparentados. En una población pequeña, todos los animales de las generaciones futuras llegarán a estar emparentados entre sí, y el apareamiento entre dichos animales conducirá a la endogamia. El efecto genético de la endogamia es un aumento de la homocigosis – el animal recibe los mismos alelos de ambos progenitores. El grado de endogamia y homocigosis de futuras generaciones se puede predecir a partir del tamaño de la población.

Dado que casi siempre hay un número mucho menor de machos reproductores que de hembras reproductoras, el número de machos reproductores es el factor más importante que determina el grado de endogamia. El tamaño

efectivo de la población (N_e) es función del número de machos y hembras reproductoras. Si N_m representa el número de machos reproductores y N_f representa el número de hembras reproductoras, el tamaño efectivo de la población se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$N_e = (4N_m N_f) / (N_m + N_f)$$

Si el número de machos reproductores es el mismo que el número de hembras reproductoras, el tamaño efectivo de la población equivale al tamaño real de la población; si los números de machos y hembras son distintos, el tamaño efectivo de la población es inferior al tamaño real de la población. Si el número de hembras reproductoras es muy superior al número de machos, el tamaño efectivo de la población será ligeramente inferior al cuádruple del número de machos.

Se puede observar una disminución del tamaño efectivo de una población agropecuaria en dos situaciones. El primer caso, el más evidente, se da cuando el tamaño poblacional real disminuye. Ello puede ser consecuencia de la sustitución de una proporción significativa de una raza con animales reproductores de otra raza, o por cruzamiento de una fracción significativa de la raza.

Se da la segunda situación cuando un semental particularmente popular y sus hijos machos y otros descendientes se usan excesivamente. Desde la época del establecimiento de las primeras asociaciones de ganaderos criadores y hasta mediados de la década de 1900, gran parte de la popularidad de determinados sementales provenía de su éxito en los concursos de exhibición. En tiempos más recientes, el factor decisivo radica en la predicción del valor genético para caracteres concretos. En el ganado lechero, la selección se basó enteramente durante muchos años en la producción lechera. Hansen (2001) describe que, aunque la Holstein Association USA Inc. tenía registradas más de 300 000 cabezas, el tamaño poblacional efectivo era de solo 37 cabezas. Utilizando registros de pedigrí del ganado nacido en 2001, Cleveland *et al.* (2005) estiman que el tamaño poblacional efectivo

PARTE 4

de la American Hereford era de 85 cabezas. La Asociación Hereford Americana tenía registradas 75 000 cabezas en 2001.

El nivel de endogamia de una población dada depende más de su tamaño efectivo que del tamaño real. El aumento del nivel de endogamia por generación equivale a $1/2N_e$. Este es el aumento esperado por generación si cada animal produce un número igual de descendientes y si los animales de la población inicial no están emparentados entre sí. Si no se dan estos supuestos, el grado de endogamia será mayor. En base a esta relación, Gregory *et al.* (1999) recomiendan que se usen por lo menos entre 20 y 25 sementales por generación. Esta sería una cifra razonable para utilizar en la conservación de una raza. El uso de 25 machos por generación conduciría a una tasa de aumento de la endogamia de cerca del 0,5 % por generación.

Aunque la pérdida de tamaño poblacional efectivo es un problema importante en la conservación de los recursos zoogenéticos, es interesante apuntar que los ganaderos de éxito siempre han aceptado cierto nivel de endogamia en sus programas. Dichos criadores establecieron rebaños o manadas que respondían a sus estándares – los animales producidos en estos rebaños o manadas cerradas inevitablemente llegaban a emparentarse, y de ahí se llegaba a la endogamia (Hazelton, 1939).

6.2 Conservación mediante mejoramiento

Los objetivos de un programa de conservación pueden incluir no solo la supervivencia e integridad de la población diana, sino también la mejora de su tasa reproductiva y su rendimiento, manteniendo al mismo tiempo sus características adaptativas específicas. La mayor parte del comentario precedente sobre estrategias reproductivas en sistemas de bajo insumo es probablemente aplicable en dichas circunstancias. Este subcapítulo se centra en los riesgos potenciales asociados al cruzamiento en el contexto de la conservación de la raza.

Una opción para proteger una raza es utilizarla como uno de los componentes de un programa de cruzamiento. Sin embargo, utilizar hembras puras para producir ejemplares cruzados reducirá el tamaño poblacional a menos que exista un excedente de hembras reproductoras. En muchos casos, las condiciones ambientales y de manejo no permiten mucho excedente reproductivo – especialmente en ganado bovino, que presenta una baja tasa reproductiva. En efecto, la mayoría de las hembras criadas deben conservarse como animales reproductores para mantener el tamaño de la población. De hecho, el efecto más importante es resultado de que se necesita un menor número de machos reproductores indígenas, producido a su vez por el menor número de hembras indígenas utilizadas para producir progenie pura. Un punto de partida lógico cuando se plantea un programa de cruzamiento es, por tanto, calcular el grado de excedente reproductivo en las hembras. Este se puede medir a partir de la fracción de hembras jóvenes disponibles para sacrificio o venta fuera del programa (o región). Como ejemplo, para rebaños de engorde razonablemente bien manejados en zonas templadas, cerca de un 40 % de las terneras son necesarias como sustitución para mantener el tamaño del rebaño.

Conociendo el excedente reproductivo de hembras, así como la fracción de la población total formada actualmente por ejemplares cruzados, se puede calcular la fracción de animales puros que se pueden utilizar para producir los F1 sin disminuir aún más el tamaño poblacional. Como ejemplo, si hay un 20 % de excedente reproductivo de hembras y la población actual es de 50 % de ejemplares puros y 50 % de ejemplares cruzados (incluyendo cualquier hembra pura utilizada actualmente para el cruzamiento), la población evolucionaría hacia una composición de poco más de un 50 % de ejemplares puros que producen ejemplares puros, poco más de un 20 % de ejemplares puros que producen F1, y algo menos de un 30 % de hembras F1, sin reducción ulterior del tamaño de la población pura que produce ejemplares

puros. Dichos valores presuponen que ninguna de las hembras producidas por las hembras F1 se retienen como hembras reproductoras; en realidad, esto probablemente nunca ocurriría.

7 Conclusiones

Los métodos de cría y su organización varían mucho entre los sistemas industrializados de producción comercial y los sistemas de bajo insumo orientados a la subsistencia. La actual organización del sector reproductivo es consecuencia de un largo proceso evolutivo. La novedad más reciente es la diseminación del modelo industrializado de cría, característico del sector avícola, a otras especies.

El modelo industrializado de cría utiliza técnicas punteras para la mejora genética. Los programas reproductivos se basan fundamentalmente en la cría directa y varían de acuerdo con las características de las especies. Las empresas reproductoras comercializan sus animales por todo el mundo. Dicha tendencia, que está bien implantada entre los criadores «comerciales» de cerdos y aves, se observa cada vez más en el ganado lechero y de engorde. Para seleccionar animales robustos capaces de adaptarse a distintos entornos, los ganaderos mejoradores establecen programas de selección en distintos entornos y sistemas de manejo. No obstante, no es posible disponer de animales que produzcan bien en todas partes y bajo cualquier circunstancia. De hecho, se desarrollan razas o líneas diferentes para cubrir las exigencias de los sistemas de alto insumo. De momento, poco se sabe de los aspectos genéticos de la adaptación. En años venideros, es de esperar que científicos y empresas mejoradoras exploren más a fondo estos temas en sus investigaciones y programas reproductivos.

En sistemas productivos de bajo insumo externo, los animales criados por pequeños propietarios representan un importante elemento de seguridad alimentaria para las familias y de

cohesión social en las comunidades rurales. En gran medida, pequeños propietarios y pastores crían las razas locales. La mejora genética en estas condiciones es una tarea complicada, pero no imposible. Se están desarrollando y validando guías detalladas para el diseño y ejecución de programas sostenibles de utilización y mejora de las razas en sistemas de bajo insumo externo. La cría directa para ajustar una raza local a las necesidades cambiantes de los productores es la opción más viable, no solo para mantenerla productiva y por tanto protegerla, sino también para mejorar la seguridad alimentaria y aliviar la pobreza. Otra opción es utilizarla como componente de un programa de cruzamiento bien planificado. Además de la introducción de un programa reproductivo, debe prestarse atención a la mejora de las condiciones de manejo y prácticas ganaderas.

Una tendencia frecuente en la investigación relativa a programas reproductivos en todas las especies es el interés creciente en los caracteres funcionales – en respuesta al aumento de la importancia que se da a factores como bienestar animal, protección del medioambiente, cualidades distintivas del producto y salud humana. Los ejemplos de caracteres funcionales incluyen robustez, resistencia a enfermedades y caracteres comportamentales, fertilidad, eficiencia de la utilización de pienso, facilidad en los partos y facilidad de ordeño. Generalmente, aunque en sistemas de alto insumo se consideren caracteres secundarios, los caracteres funcionales son de gran importancia en sistemas de bajo insumo. El registro de los caracteres funcionales, sin embargo, sigue siendo un obstáculo importante que dificulta su inclusión en los programas reproductivos. Se carece de información sobre la base genética de la resistencia a las enfermedades, bienestar, robustez y adaptación a entornos diferentes. No obstante, las industrias de ganado lechero y porcino han empezado a utilizar el tipaje de ADN en genes aislados, y la genómica (SNP), para cribar los animales reproductores. Es de esperar que esto conduzca a un nuevo enfoque

PARTE 4

de mejoramiento sobre la base de los caracteres funcionales y de productividad durante la vida del animal.

Como en el mundo desarrollado se da una tendencia a la reducción del uso de medicaciones químicas, los animales deben presentar una mayor resistencia, o como mínimo tolerancia, a determinadas enfermedades y parásitos. Ahora bien, por razones económicas y de bienestar animal, es muy difícil seleccionar dichos animales utilizando el modelo de la genética cuantitativa. Por lo tanto, se han depositado grandes esperanzas en la genómica. Ya existen algunas aplicaciones para eliminar trastornos genéticos con herencia mendeliana. En cambio, en el caso de caracteres de resistencia más complejos para los cuales ya se han identificado marcadores genéticos, como la enfermedad de Marek en aves y E. coli en cerdos, pocas o ninguna empresa de mejoramiento han implantado programas de selección basados en el ADN.

El bienestar animal se ha convertido en un importante elemento de la percepción del consumidor respecto a la calidad del producto, especialmente en Europa. Los grandes retos para los criadores son seleccionar con un objetivo de un mejor temperamento, reducir problemas en patas y pezuñas, y aminorar la incidencia de problemas cardiovasculares (en aves de engorde). Las causas de dichos problemas son multifactoriales.

La creciente importancia de los caracteres funcionales exigirá incluir un abanico más amplio de criterios en los programas reproductivos. Algunos de dichos criterios los pueden cumplir mejor las razas locales. La caracterización (fenotípica y molecular) y evaluación de dichas razas y sus caracteres importantes puede permitir la detección de algunas con rasgos únicos y singulares. Su ulterior desarrollo en programas reproductivos garantizará su disponibilidad para generaciones venideras. Desgraciadamente, la realidad es una pérdida continua de razas y líneas. El mundo desarrollado (donde se están dando la mayoría de esfuerzos concertados de mejora genética) contribuye directa o indirectamente a dicha pérdida al concentrarse en un número

muy pequeño de razas. La eliminación de líneas genéticas que acompaña a la reducción mundial del número de empresas criadoras a través de las adquisiciones corporativas ha desempeñado asimismo un importante papel.

Referencias

- Ahuya, C.O., Okeyo, A.M., Mosi, R.O. y Murithi, F.M. 2004. Growth, survival and milk breeds in the eastern slopes of Mount Kenya. *En* T. Smith, S.H. Godfrey, P.J. Buttery, y E. Owen, eds. *The contribution of small ruminants in alleviating poverty: communicating messages from research*. Proceedings of the third DFID Livestock Production Programme Link Project (R7798) workshop for small livestock keepers. Izaak Walton Inn, Embu, Kenya, 4–7 de febrero de 2003, págs. 40–47. Aylesford, Kent, Reino Unido. Natural Resources International Ltd.
- Ahuya, C.O., Okeyo, A.M., Mwangi, N. y Peacock, C. 2005. Developmental challenges and opportunities in the goat industry: the Kenyan experience. *Small Ruminant Research*, 60: 197–206.
- Alandia, E.R. 2003. *Animal health management in a llama breeding project in Ayopaya, Bolivia: parasitological survey*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Stuttgart, Alemania. (Tesis de licenciatura en Ciencias.)
- Amer, P.R. 2006. Approaches to formulating breeding objectives. *En Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 13–18 de agosto de 2006. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Andersson, L., Haley, C.S., Ellegren, H., Knott, S.A., Johansson, M., Andersson, K., Andersson-Eklund, L., Edfors-Lilja, I., Fredholm, M., Hansson, I., Hakansson, J. y Lundstrom, K. 1994. Genetic mapping of quantitative trait loci for growth and fatness in pigs. *Science*, 263: 1771–1774.

- Anwo, A.** 1989. Ministerial speech. En E.B. Sonaiya, ed. *Rural Poultry in Africa: proceedings of an international workshop*, págs. 8–9. Ile-Ife, Nigeria. Thelia House Ltd.
- Bessei, W.** 1987. International poultry development. En *Proceedings, 3rd International DLG symposium on poultry production in hot climates*, 20–24 de junio de 1987. Hamelin, Alemania.
- Bichard, M.** 2002. Genetic improvement in dairy cattle – an outsider's perspective. *Livestock Production Science*, 75: 1–10.
- Bijma, P., Van Arendonk, J.A. y Woolliams, J.A.** 2001. Predicting rates of inbreeding for livestock improvement schemes. *Journal of Animal Science*, 79: 840–853.
- Cleveland, M.A., Blackburn, H.D., Enns, R.M. y Garrick, D.J.** 2005. Changes in inbreeding of U.S. Herefords during the twentieth century. *Journal of Animal Science*, 83: 992–1001.
- Cunningham, E.P., Dooley, J.J., Splan, R.K. y Bradley, D.G.** 2001. Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contribution of founder lineages to thoroughbred horses. *Animal Genetics*, 32: 360–364.
- Dawson, M., Hoinville, L., Hosie, B.D. y Hunter, N.** 1998. Guidance on the use of PrP genotyping as an aid to the control of clinical scrapie. Scrapie Information Group. *Veterinary Record*, 142: 623–625.
- Dekkers, J.C.M. y Hospital, F.** 2002. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nature*, 3: 22–32.
- Delgado Santivañez, J.** 2003. *Perspectivas de la producción de fibra de llama en Bolivia. Potencial y desarrollo de estrategias para mejorar la calidad de la fibra y su aptitud para la comercialización*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Cuvillier, Göttingen, Alemania. (Tesis de doctorado.)
- Dickerson, G.E.** 1969. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Animal Breeding Abstracts*, 37: 191–202.
- Dickerson, G.E.** 1972. Inbreeding and heterosis in animals. En *Proceedings of Animal Breeding and Genetics Symposium in honor of Dr. J.L. Lush*, págs. 54–77. Blacksburg, Virginia. ASAS, ADSA.
- Djemali, M.** 2005. Animal recording for low to medium input production systems. En M. Guellouz, A. Dimitriadou y C. Mosconi, eds. *Performance recording of animals, state of the art, 2004*. EAAP Publication No. 113, págs. 41–47. Wageningen, Países Bajos. Wageningen Academic Publishers.
- Ducrocq, V. y Quaas, R.L.** 1988. Prediction of genetic response to truncation selection across generations. *Journal of Dairy Science*, 71: 2543–2553.
- Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C.** 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th Edition. Londres. Longman.
- FAO.** 1998. *Secondary guidelines for the development of national farm animal genetic resources management plans: management of small populations at risk*. Roma.
- FAO.** 2003. *Know to move, move to know. Ecological knowledge among the WoDaaBe of south eastern Niger*, por N. Schareika. Roma.
- FAO.** 2007. Management of sheep genetic resources in the central Andes of Peru, por E.R. Flores, J.A. Cruz y M. López. En K-A. Tempelman y R.A. Cardellino eds. *People and animals. Traditional livestock keepers: guardians of domestic animal diversity*, págs. 47–57. FAO Interdepartmental Working Group on Biological Diversity for Food and Agriculture. Roma.
- Fernando, R.L. y Grossman, M.** 1989. Marker-assisted selection using best linear unbiased prediction. *Genetics Selection and Evolution*, 21: 467–477.

PARTE 4

- Fuji, J., Otsu, K. y De Zozzato, F. 1991. Identification of a mutation in porcine cyanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253: 448–451.
- Gregory, K.E y Cundiff, L.V. 1980 Cross-breeding in beef cattle: evaluation of systems. *Journal of Animal Science*, 51: 1224–1242
- Gregory, K.E., Trail, J.C.M., Marples, H.J.S. y Kakonge, J. 1985. Heterosis and breed effects on maternal and individual traits of *Bos indicus* breeds of cattle. *Journal of Animal Science*, 60: 1175–1180.
- Gregory, K.E., Cundiff, L.V. y Koch, R.M. 1999. *Composite breeds to use heterosis and breed differences to improve efficiency of beef production*. Technical Bulletin. No. 1875. Springfield, Virginia. USDA Agricultural Research Service, National Technical Information Service.
- Groen, A.F. 2000. Breeding goal definition. *En S. Galal, J. Boyazoglu y K. Hammond, eds. Developing breeding strategies for lower input animal production environments*. Roma. ICAR.
- Grogan, A. 2005. Implementing a PDA based field recording system for beef cattle in Ireland. *En M. Guellou, A. Dimitriadou y C. Mosconi, eds. Performance recording of animals, state of the art, 2004*. EAAP Publication No. 113, págs. 133–140. Wageningen, Países Bajos. Wageningen Academic Publishers.
- Hanotte, O., Ronin, Y., Agaba, M., Nilsson, P., Gelhaus, A., Horstmann, R., Sugimoto, Y., Kemp, S., Gibson, J., Korol, A., Soller, M. y Teale, A. 2003. Mapping of quantitative trait loci controlling trypanotolerance in a cross of tolerant West African N'Dama and susceptible East African Boran cattle. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 100(13): 7443–7448.
- Hansen, L.B. 2001. Dairy cattle contributions to the National Animal Germplasm Program. *Journal of Dairy Science*, 84(Supl. 1): 13.
- Hansen, L.B. 2006. Monitoring the worldwide genetic supply for cattle with emphasis on managing crossbreeding and inbreeding. *En Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 13–18 de agosto de 2006. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Hazelton, J. 1939. *A history of linebred Anxiety 4th Herefords of straight Gudgell & Simpson breeding*. Kansas City, MO. George W. Gates Printing Co.
- Herd, R.M., Arthur, P.F., Archer, J.A., Richardson, E.C., Wright, J.H., Dibley, K.C.P. y Burton, D.A. 1997. Performance of progeny of high vs. low net feed conversion efficiency cattle. *En Proceedings of the 12th Conference of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, Dubbo, Australia, págs. 742–745.
- Hill, W.G. 2000. Maintenance of quantitative genetic variation in animal breeding programmes. *Livestock Production Science*, 63: 99–109.
- Hunter, N. 1997. Molecular biology and genetics of scrapie in sheep. *En L. Piper y A. Ruvinsky, eds. The genetics of sheep*, págs. 225–240. Oxon, Reino Unido. CAB International,
- Huyen, L.T.T., Rößler, R., Lemke, U. y Valle Zárate, A. 2005. *Impact of the use of exotic compared to local pig breeds on socio-economic development and biodiversity in Vietnam*. Stuttgart, Beuren, Alemania.
- James, J.W. 1972. Optimum selection intensity in breeding programmes. *Animal Production*, 14: 1–9.
- James, J.W. 1977. Open nucleus breeding systems. *Animal Production*, 24: 287–305.
- Jiang, X, Groen, A.F. y Brascamp, E.W. 1999. Discounted expressions of traits in broiler breeding programs. *Poultry Science*, 78: 307–316.
- Kennedy, B.W., Quinton, M. y van Arendonk, J.A. 1992. Estimation of effects of single genes on quantitative traits. *Journal of Animal Science*, 70: 2000–2012.

- Krätli, S. 2007. *Cows who choose domestication. Cattle breeding amongst the WoDaaBe of central Niger*. Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, Reino Unido. (Tesis de doctorado.)
- Lamb, C. 2001. Understanding the consumer. En *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2001, págs. 237–238.
- Lande, R. y Thompson, R. 1990. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. *Genetics*, 124: 743–756.
- Larzul, C., Manfkedi, E. y Elsen, J.M. 1997. Potential gain from including major gene information in breeding value estimation. *Genetics Selection Evolution*, 29: 161–184.
- Lemke, U. 2006. *Characterisation of smallholder pig production systems in mountainous areas of North Vietnam*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Alemania. (Tesis de doctorado.)
- Le Roy, P., Naveau, J., Elsen, J.M. y Sellier, P. 1990. Evidence for a new major gene influencing meat quality in pigs. *Genetical Research*, 55: 33–40.
- Lewis, R.M. y Simm, G. 2002. Small ruminant breeding programmes for meat: progress and prospects. En *Proceedings of the Seventh World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 19–23 de agosto de 2002, Montpellier, Francia.
- Lips, D., De Tavernier, J., Decuyper, E. y van Outryve, J. 2001. Ethical objections to caesareans: implications on the future of the Belgian White Blue. En *Proceedings of the Third Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics*, Florencia, Italia, 3–5 de octubre de 2001, págs. 291–294.
- Loquang, T.M. 2003. The Karamojong. En I. Köhler-Rollefson y J. Wanyama, eds. *The Karen Commitment: Part 2. The role of livestock and breeding; community presentations*. Proceedings of a Conference of Indigenous Communities on Animal Genetic Resources. League for Pastoral Peoples and Endogenous Development and Intermediate Technology Development Group Eastern-Africa, Karen, Nairobi, Kenya, 27–30 de octubre de 2003. Bonn, Alemania. German Non-Governmental Organisations Forum on Environment and Development.
- Loquang, T.M. 2006a. *Livestock Keepers' Rights*. Paper presented at the side event during the Fourth Ad Hoc Open-Ended Intercessional Working Group on Article 8(j) and Related Provisions of the Convention on Biological Diversity, COP 8, Granada, España, 23–27 de enero de 2006.
- Loquang, T.M. 2006b. *The role of pastoralists in the conservation and sustainable use of animal genetic resources*. Paper presented at the International Conference on Livestock Biodiversity, Indigenous Knowledge and Intellectual Property Rights; League for Pastoral Peoples and Endogenous Development, Rockefeller Study and Conference Centre, Bellagio, Italia, 27 de marzo–2 de abril de 2006.
- Loquang, T.M. y Köhler-Rollefson, I. 2005. *The potential benefits and challenges of agricultural animal biotechnology to pastoralists*. Paper presented at the Fourth All Africa Conference on Animal Agriculture, Arusha, Tanzania, 19–26 de septiembre de 2005.
- LPPS (Lokhit Pashu-Palak Sanstham) y Koehler-Rollefson, I. 2005. *Indigenous breeds, local communities: documenting animal breeds and breeding from a community perspective*. Sadri, Rajasthan, India. Lokhit Pashu-Palak Sanstham.

PARTE 4

- Markemann, A.** (próximamente). *Development of a selection programme in a llama population of Ayopaya region*. Department Cochabamba, Bolivia, Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Alemania. (Tesis de doctorado.)
- Mavrogenis, A.P.** 2000. Analysis of genetic improvement objectives for sheep in Cyprus. En D. Gabiña, ed. *Analysis and definition of the objectives in genetic improvement programmes in sheep and goats*. An economic approach to increase their profitability, págs. 33–36. Zaragoza, España. CIHEAM–IAMZ.
- Meuwissen, T.H.E.** 1997. Maximizing response to selection with a predefined rate of inbreeding. *Journal of Animal Science*, 75: 934–940.
- Nürnberg, M.** 2005. *Evaluierung von produktionssystemen der Lamahaltung in bäuerlichen gemeinden der Hochanden Boliviens*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Cuvillier, Göttingen, Alemania. (Tesis de doctorado.)
- Odubote, I.K.** 1992. *Genetic and non-genetic sources of variation in litter size, kidding interval and body weight at various ages in West African Dwarf Goats*. Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria. (Tesis de doctorado.)
- Okeyo, A.M.** 1997. Challenges in goat improvement in developing rural economies of Eastern Africa, with special reference to Kenya. En C.O. Ahuya y H. van Houton, eds. *Goat development in East Africa*. Proceedings of a workshop held at Izaak Walton Inn, Embu, Kenya, 8–11 de diciembre de 1997, págs. 55–66. Nairobi. FARM-Africa.
- Olori, V.E., Cromie, A.R., Grogan, A. y Wickham, B.** 2005. *Practical aspects in setting up a National cattle breeding program for Ireland*. Invited paper presented at the 2005 EAAP meeting in Uppsala, Suecia.
- Pharo, K. y Pharo, D.** 2005. *Direction vs. destination*. Pharo Cattle Co. Spring 2005 Sale Catalog, págs. 72–73. Cheyenne Wells, Colorado, EE.UU. Pharo Cattle Co.
- Rauw, W.M., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E.N. y Grommers, F.J.** 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*, 56: 15–33.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Archer, J.A., Woodgate, R.T. y Arthur, P.F.** 1998. Steers bred for improved net feed efficiency eat less for the same feedlot performance. *Animal Production Australia*, 22: 213–216.
- Röbber, R.** 2005. *Determining selection traits for local pig breeds in Northern Vietnam: smallholders' breeding practices and trait preferences*. Institute of Animal Production in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, Alemania. (Tesis de licenciatura en Ciencias.)
- Rocha, J.L., Sanders, J.O., Cherbonnier, D.M., Lawlor, T.J. y Taylor, J.F.** 1998. Blood groups and milk and type traits in dairy cattle: After forty years of research. *Journal of Dairy Science*, 81: 1663.
- Roe E., Huntsinger, L. y Labnow, K.** 1998. High reliability pastoralism. *Journal of Arid Environments*, 39(1): 39–55.
- Sainz, R.D. y Paulino, P.V.** 2004. *Residual feed intake*. Agriculture & Natural Resources Research & Extension Centers Papers, University of California.
- Simianer, H.** 1994. Current and future developments in applications of animal models. En *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Guelph, Canadá. Vol. 18, págs. 435–442.
- Simm, G.** 1998. *Genetic improvement of cattle and sheep*. Tonbridge, Reino Unido. Farming Press, Miller Freeman UK Limited.

Smits, M.A., Barillet, F., Harders, F., Boscher, M.Y., Vellema, P., Aguerre, X., Hellinga, M., McLean, A.R., Baylis, M. y Elsen, J.M. 2000. Genetics of scrapie susceptibility and selection for resistance. En *Proceedings of the 51st Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP)*. 21–24 de agosto. La Haya, Paper S.4.4. EAAP. Roma

van Arendonk, J.A.M. y Bijma, P. 2003. Factors affecting commercial application of embryo technologies in dairy cattle in Europe – a modelling approach. *Theriogenology*, 59: 635–649.

Wickham, B.W. 2005. Establishing a shared cattle breeding database: Recent experience from Ireland. En M. Guellouz, A. Dimitriadou y C. Mosconi, eds. *Performance recording of animals, State of the art, 2004*. EAAP Publication No. 113, pp. 339–342. Wageningen, Países Bajos. Wageningen Academic Publishers.

Willis, M.B. 1991. *Dalton's introduction to practical animal breeding*. 3rd ed. Oxford, Reino Unido. Blackwell Science Ltd.

Woolliams, J.W. y Bijma, P. 2000. Predicting rates of inbreeding in populations undergoing selection. *Genetics*, 154: 1851–1864.

Woolliams, J.W., Bijma, P. y Villanueva, B. 1999. Expected genetic contributions and their impact on gene flow and genetic gain. *Genetics*, 153: 1009–1020.

Wurzinger, M. 2005. *Populationsgenetische analysen in Lamapopulationen zur implementierung von leistungsprüfung und selektion*. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Viena. (Tesis de doctorado.)

