

Valoración genética de reproductores destinados a la monta natural en vacuno de carne I. Aproximación al problema y metodología de valoración genética.



Jordana, J. Unitat de Genètica i Millora Animal. Departament de Patologia i de Producció Animals. Facultat de Veterinària. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

DIFICULTADES QUE ENTRAÑAN LOS PROGRAMAS DE MEJORA EN VACUNO DE CARNE.

La finalidad última de cualquier programa de mejora es aumentar la rentabilidad económica de las explotaciones que integran dicho programa. Seis son los principales factores, que de una forma más directa, inciden en la rentabilidad económica: el manejo, la alimentación, la sanidad, la reproducción, la comercialización y la genética. La adecuada coordinación de todos ellos hará que se alcancen los objetivos propuestos.

La principal ventaja de la mejora genética sobre los otros cinco factores de rentabilidad es que, a diferencia de ellos, los logros alcanzados son acumulativos, es decir, se transmiten de una generación a la siguiente. Por lo que el papel de la mejora genética sería elegir los mejores reproductores de las siguientes generaciones de acuerdo con ciertos criterios, y realizar los

apareamientos favoreciendo unos genes o una combinación de ellos, a fin de que con la descendencia o con la venta de sus productos, se obtenga una mayor rentabilidad.

El primer problema, y uno de los más importantes, que se nos presenta es decidir cuales serán los objetivos que nos proponemos mejorar para que la rentabilidad económica sea máxima. A diferencia de lo que ocurre en vacuno de leche, en vacuno de carne es a veces de difícil solución y de ella va a depender el éxito o fracaso del programa que queramos instaurar. Los motivos de esta dificultad son diversos (2,3), pudiendo destacar entre otros:

1.- El elevado número de razas cárnicas que existen.

Las diferentes razas poseen cada una de ellas sus propias características, siendo, como dice Bougler (3), el resultado de una historia, forjada por el

medio natural (adaptación a los diferentes sistemas de producción) e influenciada por el medio socio-económico de los mercados existentes. Este hecho repercute en la ausencia de un programa uniforme de mejora para el sector, como es el caso del vacuno de leche. Las diferentes razas pueden tener, como así sucede, diferentes objetivos de selección (razas paternas, razas maternas).

2.- Los diversos gustos del consumidor.

Animales jóvenes, añejos, adultos. Carnes rojas, blancas, con grasa o sin ella, etc., que varían según mercados y lugares.

3.- Existencia de tres sectores en la mayoría de los sistemas de producción.

El ganadero con vacas madres, el cebadero y el matadero-carnicero. Ca-

da grupo, según Alenda (1), posee un mismo objetivo, el aumento de la productividad. Pero el aumento en cada grupo podría ser a costa de la disminución de la productividad de los otros.

4.- Objetivos de selección numerosos, variables en el tiempo, complejos y en ocasiones de signo opuesto.

Se hace necesario determinar que caracteres son susceptibles de mejora y cual es su grado de influencia en la eficacia económica de un animal -estimación de pesos económicos- (8).

5.- Criterios de selección difíciles de controlar.

Principalmente debido a las condiciones de explotación extensiva de los rebaños cárnicos.

6.- Poca o nula utilización de la Inseminación Artificial.

Esto conlleva la dificultad añadida, tanto en el plano técnico como económico, de seleccionar toros cárnicos sobre descendencia que, como sabemos, es de gran utilidad para realizar una buena predicción del valor genético de los reproductores, tanto para sus aptitudes o características maternas como cárnicas. Otro inconveniente adicional sería la poca y lenta difusión del progreso genético que se obtiene con la monta natural.

7.- Poca competitividad del sector.

Cuando lo comparamos con el vacuno de leche. Esto conlleva una labor de mentalización de cara a los ganaderos para que se organicen y entren a formar parte de un programa de control y de mejora, asumiendo el trabajo adicional que esto pueda comportar, pero al mismo tiempo que sean conscientes de los beneficios que les puede reportar.

OBJETIVOS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN.

Sólo una estrecha coordinación entre los diversos estamentos involucrados (asociaciones de ganaderos, administración, universidades, etc...), puede permitir superar estas dificultades

y proponer un programa coherente, que garantice un progreso genético real y un aumento de la rentabilidad económica de los animales.

Las tres condiciones de eficacia para un buen desarrollo de un programa de mejora son (3):

1.- Fijar objetivos de selección claramente definidos y estables en el tiempo.

2.- Ir aumentando al máximo la base de selección, es decir, el número de animales identificados y controlados.

3.- Elección de los mejores reproductores en cada generación (predicción precisa de sus valores genéticos) y buena organización para su posterior difusión y utilización.

Debido a la existencia de tres sectores claramente definidos en los sistemas de producción de vacuno de carne (1), pasaremos a comentar algunos caracteres susceptibles de mejora en cada uno de ellos, diferenciando, de una forma general, tres grandes grupos de aptitudes, que se corresponden bastante estrechamente con los sectores mencionados. Sin embargo, un programa de mejora a nivel del conjunto de una raza, debe intentar relacionar de la forma más óptima los diferentes objetivos particulares de cada sector, para así lograr obtener la máxima rentabilidad económica por animal.

- Sector de vacas madres: Aptitudes maternas.

- Sector de cebadero: Aptitudes cárnicas.

- Sector de matadero: Caracteres relacionados con el sacrificio.

APTITUDES MATERNAS.

La finalidad primordial del ganadero con vacas madres es vender los terneros al destete con el máximo peso posible. Una buena productividad de las vacas, con pocas intervenciones humanas, necesidades nutritivas mínimas, adaptadas a las disponibilidades forrajeras y al medio, implica tener en cuenta conjuntamente las aptitudes de la madre (reproducción, capacidad lechera...) y las de los terneros (nacimiento, destete...).

Los objetivos a tener en cuenta en este sector podrían ser:

1) Fertilidad materna.

Factor esencial para reducir costes de producción. Sin embargo, su heredabilidad es muy baja y su selección no es posible más que reduciendo la variabilidad debida al medio. Además, existe una correlación genética negativa con los caracteres de aptitud cárnica.

2) Rusticidad.

La podemos definir como la capacidad de adaptación que tienen las vacas a un determinado sistema productivo que les permite mantener su productividad. La selección de vacas sobre su productividad en un medio determinado permite tener en cuenta indirectamente la rusticidad.

3) Facilidad de parto y viabilidad de los terneros.

Los partos distócicos representan un perjuicio económico importante en razón de los costes de la intervención veterinaria y de la mortalidad que generan. Las relaciones genéticas con las aptitudes cárnicas indican que la selección sobre el crecimiento y el desarrollo muscular conducen a un deterioro de la aptitud materna al parto. La selección deberá hacerse directamente sobre este criterio materno o sobre sus componentes (apertura pelviana, duración de la gestación, peso del ternero al nacimiento).

4) Rendimiento lechero.

Capacidad de las vacas para criar de forma óptima su ternero. Se suele medir como la ganancia en peso del ternero desde el nacimiento hasta los tres meses. Sin embargo, la selección lechera se acompaña de un aumento del formato y de la velocidad de crecimiento, por lo que si no se toman medidas al respecto, esta selección lechera podría conducir a un aumento en las dificultades del parto o al menos en los pesos al nacimiento. El aumento de la producción lechera tiene una relación negativa con el índice de conversión, el rendimiento al sacrificio y el desarrollo muscular, es decir, con la

mayoría de caracteres que conforman la aptitud cárnica, así como con los caracteres de calidad de la canal (7).

APTITUDES CÁRNICAS.

El objetivo fundamental de los cebaderos es producir animales para sacrificio a un peso determinado, en el menor tiempo posible (a edad o peso fijo) y con el mínimo gasto de alimento.

Los criterios de selección utilizados para alcanzar este objetivo podrían ser:

1) Velocidad de crecimiento.

Puede caracterizarse indistintamente como ganancia media diaria (GMD) o como peso a una edad fija.

La heredabilidad (h^2) estimada en estaciones experimentales es alta, aprox. 0.5, lo que implicaría que dicho carácter podría seleccionarse eficazmente a partir de los rendimientos individuales de los progenitores. Sin embargo, la h^2 estimada en granja o explotación, disminuye apreciablemente (aproximadamente 0.2), ya que en este caso la velocidad de crecimiento depende mucho de otros factores, tales como: la aptitud para el pastoreo, la capacidad de ingestión, las necesidades de mantenimiento o la propia rusticidad del individuo (adaptación al clima, vegetación, terreno, resistencia a los desplazamientos, agresiones parasitarias, etc.), de aquí la posible importancia de las razas autóctonas frente a otras especializadas, ya que, aunque no lleguen a los valores de éstas, en determinados ambientes alcanzan una mayor productividad.

2) Consumo y eficiencia alimenticia.

Corresponden a los otros dos caracteres que determinan la eficacia zootécnica y económica del cebo. Sus h^2 son altas (0.4-0.5), por lo que una selección individual sería suficiente para mejorar estos dos caracteres y obtener una buena respuesta. Las correlaciones genéticas observadas entre estos caracteres y la ganancia en peso (GMD) (r = aprox. 0.75) se traducen en el hecho de que la GMD es la resultante de la cantidad de alimentos consumidos y de su transformación por el

animal en tejidos corporales. Así, la mejora en la velocidad de crecimiento puede obtenerse por la mejora de estos dos componentes simultáneamente o más específicamente por uno solo de ellos.

La selección sobre el Índice de Conversión (eficacia alimenticia) sería dos veces mejor que la selección sobre GMD (7), pues ella conduce no sólo a aumentar sensiblemente la velocidad de crecimiento sino que también reduce notablemente el consumo. Sin embargo, esto sólo sería aplicable en un sistema de producción en régimen intensivo a base de concentrados, ya que en régimen extensivo o semiextensivo, valorar el consumo o calcular el índice de conversión es casi imposible, por lo que se hace necesario seleccionar a partir del GMD, basándose en pesadas periódicas.

CARÁCTERES RELACIONADOS CON EL SACRIFICIO.

Hacen referencia esencialmente a criterios de composición corporal, y para interpretar correctamente los resultados es necesario limitar al máximo las variaciones tanto de edad como de peso al sacrificio.

1) Rendimiento a la canal.

Carácter con una incidencia económica muy directa ya que determina el peso de canal comercializable. Sin embargo, es muy sensible a las condiciones de sacrificio (edad o peso fijo) y en particular a las variaciones del contenido digestivo. Las estimaciones de h^2 no son demasiado fiables, ya que muestran una gran variabilidad (0.05-0.90). El peso vivo al sacrificio está muy relacionado con el peso de la canal, por lo que, los efectos de la selección a favor del peso al destete influirán directamente en el peso de la canal.

2) Composición de la canal.

Los criterios de composición de la canal presentan h^2 más homogéneas y elevadas (0.4-0.5). Si se mantiene el peso al sacrificio constante, la velocidad de crecimiento está asociada positivamente a la cantidad de músculo y negativamente a la adiposidad (7), es

decir, los animales sacrificados van siendo más jóvenes, por lo que existe un cambio fisiológico en el desarrollo de la madurez. Los animales de mayor crecimiento tienden a tener una canal con mayor porcentaje de carne a costa de una menor proporción de grasa. Como conclusión, se esperaría que una selección a favor del crecimiento (favoreciendo el carácter índice de conversión, no el de consumo de alimento, ya que en este caso sucedería lo contrario), produciría animales de mayor tamaño, con más musculatura y con madurez más tardía.

3) Calidad de la canal.

Los criterios de calidad de la carne, no están aún suficientemente definidos para conocer su variabilidad genética intrarraza. Así que, por el momento, sólo se abordan los criterios de conformación de la canal, definidos como "muscularidad" y valorados a partir de puntuaciones subjetivas (variables de un país a otro). Muy a menudo este carácter se evalúa por valoradores especializados a través de la conformación cárnica en vivo, debido a la alta correlación genética existente entre ellos, lo cual nos va a permitir poder seleccionar dicho carácter sin la necesidad de sacrificar animales.

METODOLOGÍA DE LA VALORACIÓN GENÉTICA.

La tasa de cambio genético ($R(A\hat{A})$) de una población sometida a selección depende de la intensidad de selección (i), de la precisión de la evaluación de los animales seleccionados ($R(A\hat{A})$), de la cantidad de variación genética del carácter (σ_A) y del intervalo generacional de cada vía de selección (L): padres de hembras, padres de machos, madres de hembras y madres de machos. El progreso genético anual viene entonces relacionado según la siguiente fórmula:

$$R = i \cdot R(A\hat{A}) \cdot \sigma_A \quad R_a = \sum R_i / \sum L_i$$

A su vez, la precisión de la selección depende de la cantidad de información disponible para evaluar el mérito genético de cada animal, lo cual es función del esquema de selección utilizado en la población y del método de evaluación.

Los métodos de evaluación genética, en vacuno de carne, han estado sometidos a una continua mejora a lo largo del tiempo. Durante años, se vino utilizando la comparación de los rendimientos de cada individuo, candidato a la selección, con respecto a los de un grupo de animales emplazados en el mismo ambiente para separar los efectos genéticos de los ambientales.

ÍNDICES DE SELECCIÓN.

Posteriormente, se desarrollaron los llamados Índices de Selección que incorporaron la información de parientes a la propia información del individuo objeto de selección. El valor de un índice (I) lo podríamos definir como la mejor aproximación que podríamos realizar del valor mejorante (A) del candidato, es decir, la predicción del valor mejorante que hagamos de un individuo debe tener una desviación mínima con el verdadero valor (A), por lo que, el cuadrado medio de las diferencias entre el valor mejorante verdadero y el índice tendría que ser mínimo,

$$E \left[\sum (A-I)^2 \right] \longrightarrow \text{MINIMO}$$

El índice es la mejor predicción lineal (BLP) del valor genético de un individuo y se expresa como la regresión múltiple del valor genético sobre todas las fuentes de información.

Por tanto, la ecuación general de un índice de selección la podemos escribir de la siguiente manera:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum_i b_i x_i$$

siendo:

x_i = los valores fenotípicos (desviaciones a la media) del individuo y/o de sus parientes, para el carácter en cuestión.

b_i = factores de ponderación de dicha información (dependerá de la h^2 del carácter, del número de individuos medidos, del coeficiente de parentesco que tengan los individuos que aportan información, etc.).

Mediante la utilización de los índices también es posible seleccionar los candidatos a reproductores para varios caracteres a la vez. El objetivo de se-

lección (p.e. valor económico del individuo) se llama "Mérito", y está integrado por diferentes caracteres. El individuo, lógicamente, presentará un valor mejorante (A) para cada uno de ellos, y además, no todos los caracteres tendrán la misma importancia económica para la valoración final. Por tanto, el objetivo a mejorar será el "Valor Mejorante Agregado" (H) o "Mérito Neto" (el cual es una combinación de todos los caracteres que se van a mejorar).

$$H = a_1A_1 + a_2A_2 + \dots + a_iA_i + \dots + a_nA_n$$

siendo:

A_i = Valor mejorante del carácter i

a_i = Factor de ponderación económica del carácter (deben de expresar la importancia relativa de 1 unidad de incremento de cada carácter).

El índice de selección para valorar los candidatos tendrá la siguiente forma:

$$I = b_1P_1 + b_2P_2 + \dots + b_iP_i + \dots + b_mP_m$$

siendo:

P_i = mediciones fenotípicas de los diferentes caracteres.

b_i = factores de ponderación que tienen que ser determinados.

La utilización de los índices de selección para la valoración de reproductores asume, principalmente, que:

1) La media poblacional es conocida y las observaciones están ajustadas correctamente para los efectos no genéticos. Sin embargo, el uso de factores de ajuste estándar implica que no existe interacción entre el nivel de ajuste y el efecto rebaño.

2) Los animales se aparean aleatoriamente.

3) No existe tendencia genética en la población.

4) No existe desecho previo de los animales cuyos caracteres queremos evaluar (selección secuencial).

5) Los efectos ambientales son aleatorios con respecto a los genotipos.

6) No existe interacción genotipo - ambiente

METODOLOGÍA BLUP.

A partir de la década de los 50 se produjo un considerable esfuerzo investigador para desarrollar mejores métodos de valoración del mérito genético de los animales. En particular la metodología BLUP (mejor predicción lineal insesgada) desarrollada por el profesor Henderson en la Universidad de Cornell (U.S.A). Las técnicas BLUP reemplazaron rápidamente a los índices y otros procedimientos en el vacuno de leche. Sin embargo, su introducción en otras especies, y en concreto en vacuno de carne, ha sido mucho más lenta.

El BLUP se diferencia del BLP en que es insesgado, es decir, prediciamos el valor que queremos conocer (valor genético del individuo) libre de la influencia de otros factores (efectos fijos o ambientales que distorsionan la predicción del valor mejorante). El BLP sería insesgado si los datos hubieran sido ajustados adecuadamente para los efectos fijos (10). La gran diferencia reside en que en los Índices de Selección los valores de los efectos fijos, así como la media poblacional, tienen que ser conocidos de antemano y de este modo poder realizar las oportunas correcciones. Por el contrario, mediante el procedimiento BLUP estos requisitos no son necesarios, ya que tanto la media como los efectos fijos son incluidos en el modelo y son estimados a partir del mismo. Henderson (4) propone un modelo estadístico que se compone de efectos fijos y de efectos aleatorios, y que se conoce con el nombre de Modelo Mixto. Dicho modelo permite la estimación simultánea de los efectos fijos con propiedades BLUE (mejor estimador lineal insesgado) y la predicción de los efectos aleatorios con propiedades BLUP.

EL MODELO ANIMAL.

La metodología BLUP para la valoración de reproductores es muy flexible, y permite introducir en el modelo todos los factores que creamos puedan influir en la valoración genética de los individuos. Dependiendo de la información y de los medios computacionales

de que dispongamos, existen diferentes modelos a utilizar. Sin embargo, sólo vamos a prestar atención al modelo más completo de todos, aquél en el que el valor genético que queremos predecir es el del animal que ha producido el dato (Modelo Animal). La resolución de este modelo dará directamente el valor genético de todos los animales con datos, contrariamente a otros modelos, más sencillos desde el punto de vista computacional, que los predecían indirectamente (si introducimos en el modelo las relaciones de parentesco, podremos evaluar tanto los animales con datos como sin ellos, por ser éstos genealógicos).

Simplificando, podemos asumir que el fenotipo (P) de un animal, es igual a su genotipo (G) más el medio ambiente (E) donde se ha producido el fenotipo. La ecuación clásica $P = E + G$, se puede expresar de forma matricial de la siguiente manera:

$$y = Xb + Za + e$$

donde:

y vector de observaciones (fenotipo de los animales).

b vector de parámetros de los efectos fijos.

a vector de parámetros de los efectos aleatorios.

e vector de términos residuales (error del modelo).

X y Z son matrices conocidas de incidencia que relacionan los efectos ambientales b y los efectos genéticos a con el vector de observaciones y, respectivamente.

Para la estimación de los efectos fijos y la predicción de los efectos aleatorios, se hace necesaria la inversión de la matriz de varianzas y covarianzas de las observaciones (V), lo cual debido a su gran magnitud muchas veces no es posible.

Henderson, derivó un nuevo algoritmo para resolver este problema. La solución que se obtiene es la misma que la obtenida anteriormente, la cual poseía propiedades BLUP para los

efectos aleatorios y BLUE para los fijos. Estas ecuaciones son las Ecuaciones del Modelo Mixto (EMM), que evitan la inversión de la matriz V.

Las ecuaciones una vez simplificadas y habiendo introducido la matriz de parentesco (A), quedarían de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

Siendo $\alpha = \sigma_e^2/\sigma_a^2 = 1-h^2/h^2$ Este término es lo que diferencia a las Ecuaciones de Mínimos Cuadrados Ordinarios de las Ecuaciones del Modelo Mixto.

Si disponemos de observaciones repetidas de un carácter en un mismo individuo, poseemos una información extra común a todos los datos del mismo animal, y podemos utilizar una extensión del Modelo Animal llamada Modelo Animal con Medidas Repetidas.

$$y = Xb + Za + Zp + e$$

p representa los efectos ambientales permanentes ligados a la producción de un mismo animal, y aunque son de origen no genético, actúan o influyen durante toda la vida del individuo.

Las EMM quedarían de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha & Z'Z \\ Z'X & Z'Z & Z'Z + \lambda p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

siendo,

$$\alpha_a = \sigma_e^2/\sigma_a^2 = (1-r)/h^2$$

$$\alpha_p = \sigma_e^2/\sigma_p^2 = (1-r)/(r-h^2)$$

(r es la repetibilidad del carácter, e I una matriz identidad)

Las ventajas de esta información adicional serían:

- Aprovecha al máximo toda la información disponible.

- Se reduce la varianza del error con lo que el valor genético de los animales se predice con mayor precisión.

- A los animales con registro se les puede estimar sus efectos ambientales permanentes.

Siguiendo a Hill y Meyer (6) comentaremos, muy escuetamente, las propiedades genéticas del Modelo Animal, diferenciando los aspectos positivos y negativos.

A. Ventajas.

- Los estimadores BLUP son insesgados. Cuanta más información tengamos de un individuo menor será la varianza del error de predicción.

- Se obtienen simultáneamente estimaciones para los efectos fijos y predicciones para los valores mejorantes.

- Todas las relaciones de parentesco son tenidas en cuenta.

- Pueden realizarse comparaciones entre individuos nacidos en diferentes generaciones o años.

- El método puede hacerse extensivo a caracteres múltiples, BLUP multicarácter (5).

- El gran número de ecuaciones a resolver que se generan mediante el Modelo Animal (al menos una para cada animal de la población), puede verse disminuido, substancialmente, mediante la utilización del llamado "Modelo Animal Reducido" (9).

B. Inconvenientes.

- Las predicciones dependen del conocimiento de parámetros genéticos, tales como la heredabilidad.

- Se hace necesaria una buena base de datos. Existencia del Libro Genealógico con los pedigrís de los animales y, asimismo, un buen control de las producciones.

- La selección es tenida en cuenta sólo si el modelo genético es el apropiado. Esto implica asumir efectos genéticos infinitesimales y ausencia de ligamiento.

