

Valoración genética de reproductores destinados a la monta natural en vacuno de carne.

II.- Valoración de reproductores.



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

INTRODUCCIÓN.

Tal como se ha visto en el trabajo anterior, los objetivos de selección a mejorar en una población, pueden ser diferentes dependiendo de la raza con la que trabajemos, su hábitat y su entorno socio-económico. Para centrar el tema, nos referiremos a una población con vocación materna (que sería el caso de muchas de las razas cárnicas autóctonas españolas) y, aunque la metodología y las conclusiones generales puedan ser perfectamente extrapolables a otras razas, los pequeños detalles de los modelos intentarán ser los apropiados a estas poblaciones.

Como ya se ha comentado, en vacuno de carne la incidencia de la inseminación artificial (IA) suele ser más bien escasa, y en ciertas razas nula. Por poner solo un ejemplo, los toros cárnicos franceses destinados a IA representan solo un 3% de los mismos, cu-

briendo a un máximo del 15% del total de vacas cárnicas (8). La monta natural (MN) es el sistema de reproducción más extendido y esto lleva consigo la obligatoriedad de evaluar el mayor número de reproductores con la máxima rapidez posible. Esta afirmación adquiere más importancia si cabe con los sementales, ya que la vida útil promedio de éstos suele ser corta, aproximadamente de 3 campañas de reproducción, es decir, 3 subidas a puerto.

Por tanto, un programa de selección basado en MN podría reposar sobre tres etapas sucesivas: la elección de los terneros (machos y hembras) al destete a partir de sus rendimientos y de la valoración de sus padres en granja; la elección sobre rendimientos individuales en centros de testaje de los toros jóvenes después del destete, y la elección sobre descendencia en granja de los toros y vacas en reproducción. La conveniencia o no de los

centros de testaje podría ser muy discutible desde el punto de vista de la valoración genética de los individuos. Sin embargo, lo vamos a mantener, ya que puede ser de vital importancia en determinadas poblaciones dependiendo de la infraestructura que posean; además puede servir como un buen "escaparate", conjuntamente con las subastas, para la difusión del progreso genético y la promoción de la raza.

VALORACIÓN DE REPRODUCTOR JOVEN.

Existen diferentes modelos de valoración, todos ellos válidos y criticables a la vez, dependiendo de la información disponible, de los criterios de selección utilizados, de la propia estructura de la población a seleccionar y de las asunciones que estemos dispuestos a aceptar para lograr una mayor simplicidad del modelo o simplemente por ignorancia de su resolución.

El objetivo último del programa de mejora sería el de obtener una población cárnica con vocación materna. Para ello, se podría proponer un modelo animal con propiedades BLUP, semejante al descrito por Benyshek et al. (2), que permitiría obtener las valoraciones conjuntas de terneros, vacas y toros. Sin embargo, ahora solo prestaremos atención a los resultados obtenidos para los terneros (as) y las vacas madres. Posteriormente, volveremos sobre el mismo modelo para discutir las valoraciones de los semetales.

El objetivo de selección global perseguido a este nivel será obtener el máximo número de Kg de ternero destetado por hembra y año. Para ello seleccionaremos las hembras con suficiente capacidad lechera para criar un ternero hasta el destete, teniendo en cuenta además que no ocasionen problemas de parto. Del mismo modo, seleccionaremos los terneros (as) que muestren un mayor potencial de crecimiento predestete.

La fuente de información utilizada será el peso del ternero al destete (180 días).

En notación matricial el modelo sería el siguiente:

$$Y = Xb + Za + e$$

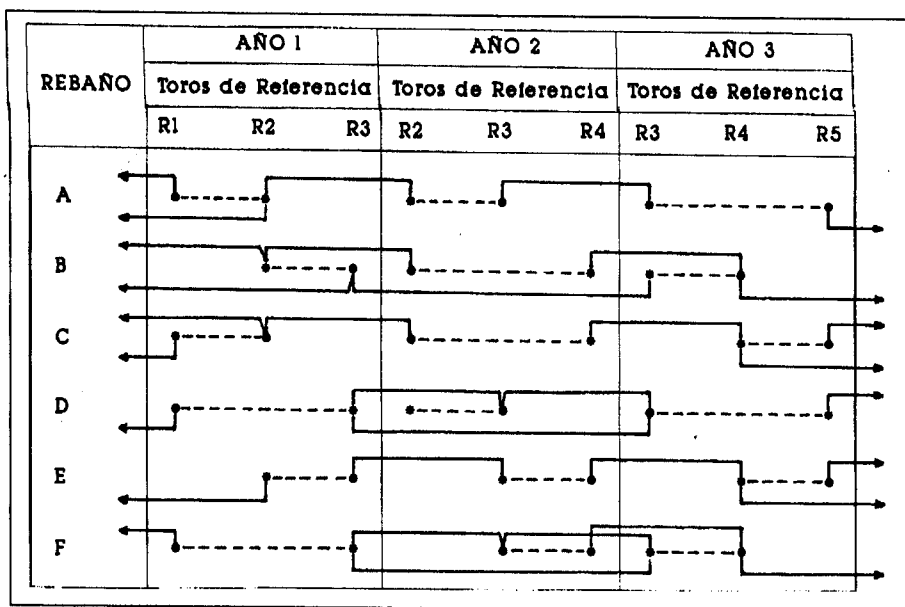
Dado que el carácter peso al destete está influido por dos componentes: los efectos maternos y los efectos directos, indicándonos los primeros la aptitud materna (principalmente la capacidad lechera) de la madre y los segundos el potencial de crecimiento de los individuos; el modelo, teniendo en cuenta estos efectos, quedaría de la siguiente forma:

$$Y = Xb + Z_d u_d + Z_m u_m + Z_p u_p + e$$

Registro del individuo = efecto fijo del grupo contemporáneo + valor mejorante del individuo + valor mejorante materno de la hembra + efecto del ambiente permanente de la madre sobre el peso al destete de sus terneros + error.

Donde X y Z son matrices de incidencia que relacionan los efectos fi-

Fig. 1. Dispositivo de conexión entre años y rebaños utilizando toros de referencia (Tomado de Sapa y Menissier, 1986).



—: conexiones entre años dentro del mismo rebaño
 ----: conexiones entre rebaños intraaños
 • : toro de referencia elegido por el ganadero
 * : toro de referencia impuesto al ganadero

jos b y los efectos aleatorios (u_d , valor mejorante directo; u_m , valor mejorante para efectos maternos, y u_p , ambiente permanente materno) con el vector de observaciones Y, respectivamente.

Las únicas columnas no nulas de Z_m son las correspondientes a las madres de los terneros con datos. La matriz de incidencia Z_m es igual a la matriz de incidencia Z_p . Sin embargo, a través de la matriz de parentescos (A) obtenemos dos evaluaciones de cada animal (toros, vacas y terneros), una directa y otra materna. Este modelo sería equivalente a un BLUP multicarácter; tenemos dos caracteres (aptitud lechera y potencial de crecimiento) aunque evaluados con un único criterio de selección (peso al destete).

En este modelo asumimos que:

- 1) Se conocen los segundos momentos de todos los efectos aleatorios.
- 2) No existe correlación entre los efectos aleatorios y el error.
- 3) El vector de los efectos aleatorios de ambiente permanente materno (u_p) no está correlacionado con los otros vectores de efectos aleatorios (directos y maternos).

La matriz de varianzas y covarianzas de los efectos aleatorios queda de la siguiente manera:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} u_d \\ u_m \\ u_p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & 0 & 0 \\ & g_{22}A & 0 & 0 \\ & & g_{33}I & 0 \\ \text{Simétrica} & & & \sigma_e^2 I \end{bmatrix}$$

donde,

- A = matriz de parentesco.
- I = matriz identidad.
- g_{11} = varianza genética aditiva del efecto directo.
- g_{22} = varianza genética aditiva del efecto materno.
- $g_{12} = g_{21}$ = covarianza genética aditiva entre efectos directos y maternos.
- g_{33} = varianza del efecto permanente materno = σ_p^2 .
- σ_e^2 = varianza del error.

Dado que los vectores u_d y u_m incluyen los mismos animales, la varianza de los efectos aleatorios genéticos (directos y maternos) es igual a:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} ud \\ u_n \end{bmatrix} = G_o \otimes A = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A \\ g_{21}A & g_{22}A \end{bmatrix}$$

siendo G_o la matriz (2x2) de varianzas y covarianzas de los efectos directos y maternos (elementos g_{ij}).

La inversa de este producto es el producto directo (\otimes) de las inversas, siendo por tanto:

$$(G_o \otimes A)^{-1} = G_o^{-1} \otimes A^{-1} = \begin{bmatrix} g^{11}A^{-1} & g^{12}A^{-1} \\ g^{21}A^{-1} & g^{22}A^{-1} \end{bmatrix}$$

Las ecuaciones del modelo mixto (EMM) para un carácter influido maternalmente serían:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z_d & X'Z_m & X'Z_p \\ Z_d'X & Z_d'Z_d + g^{11}\sigma_e^2 \cdot A^{-1} & Z_d'Z_m + g^{12}\sigma_e^2 \cdot A^{-1} & Z_d'Z_p \\ Z_m'X & Z_m'Z_d + g^{21}\sigma_e^2 \cdot A^{-1} & Z_m'Z_m + g^{22}\sigma_e^2 \cdot A^{-1} & Z_m'Z_p \\ Z_p'X & Z_p'Z_d & Z_p'Z_m & Z_p'Z_p + \sigma_e^2/\sigma_p^2 \cdot I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u}_d \\ \hat{u}_m \\ \hat{u}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z_d'y \\ Z_m'y \\ Z_p'y \end{bmatrix}$$

Algunos factores ambientales pueden influir sobre las observaciones de los pesos, en concreto: el sexo del ternero, la edad en el momento de realizar las pesadas, la suplementación o no con concentrados durante el período predestete (código de manejo), la edad o parto de la madre, el rebaño (núcleo) donde han crecido los terneros, el año de nacimiento y por último, la estación (períodos de meses) de partos.

Todos estos factores los podríamos considerar en el llamado "grupo contemporáneo" (efecto fijo), y las valoraciones de los individuos se realizarían, en principio, dentro de estos grupos. Sin embargo, surge un problema adicional derivado del gran número de clases (grupos de contemporáneos) que se nos formarían, lo cual conllevaría el peligro de que alguna

de las clases tuviera tan pocos individuos que fuera imposible realizar valoraciones comparables dentro de ella.

Otro problema sería el derivado de las conexiones entre grupos contemporáneos. Algunos grupos podrían estar desconectados y otros tener un grado de conexión tan débil, que haría imposible obtener valoraciones comparables. Este problema se agrava cuando la población con la que trabajamos es de tamaño reducido.

Para solventarlo, en la medida de lo posible, ajustaremos previamente algunos factores ambientales, en concreto, el sexo del ternero y la edad de la vaca. Para corregir el efecto de la edad del ternero cuando se realizan las pesadas, estandarizaremos los pesos a una edad fija de 180 días. Como intervalo mínimo y máximo se recomienda realizar las observaciones en-

tre los 135 y 225 días. Los pesos estandarizados se obtendrán a partir de la siguiente fórmula:

Peso estándar₁₈₀ = (peso real - peso nacimiento / edad en días) × 180 + peso neto.

Por tanto, los efectos que se incluirían en el "grupo de contemporáneos" serían: rebaño, año, estación y código de manejo.

Para la valoración de los individuos tendremos en cuenta toda la información disponible. Se incluirá en el modelo la matriz de parentesco (A), y si ésta no estuviera completa, se podría tener en cuenta la tendencia genética de la población a través del llamado "efecto grupo", siguiendo la estrategia de Westell (17,18).

Para ello, se introduce la matriz de parentesco en aquellos animales que se conoce su pedigrí, e introducimos el efecto grupo en aquellos animales con padres desconocidos. La estrategia consiste en asignar un padre fantasma (o los dos), a los individuos sin genealogía conocida. Asumimos que cada padre fantasma solo tiene un descendiente y entonces se le asigna a un grupo de nacimiento teniendo en cuenta el intervalo generacional promedio, según las vías genéticas.

Sin embargo, queremos señalar que la construcción de dichos grupos en vacuno de carne no es fácil, ya que las vías de selección están menos diferenciadas que en vacuno de leche. Esta situación se pone de manifiesto en el actual modelo de valoración de razas cárnicas en Francia (7), que presenta un programa basado en un modelo animal teniendo en cuenta los efectos directos y maternos, sin considerar los grupos de padres desconocidos.

En una población pequeña, como sería el caso de la mayoría de razas autóctonas españolas, el modelo animal descrito creemos que no generaría problemas de computación; no obstante, si se diera el hipotético caso, se podría solucionar utilizando el llamado modelo animal reducido (RAM) (12).

Las mejores terneras pasarían, después de una valoración morfológica, a reposición, sustituyendo a las vacas peor valoradas. Los mejores terneros pasarían a centros de testaje, siempre que llegasen a una determinada puntuación morfológica, y serían evaluados para caracteres relacionados con las aptitudes cárnicas.

Para la elección de los mejores terneros (as) nos podríamos basar en las valoraciones obtenidas para los efectos directos (potencial de crecimiento), aunque tendrían que superar un determinado nivel para las valoraciones por efectos maternos. Las vacas adultas serán reelegidas o rechazadas según su valoración por efectos maternos (capacidad lechera) ya que en su época de terneras ya fueron seleccionadas según el potencial de crecimiento. Sin embargo, en esta nueva valoración deberían superar, asimismo, un nivel mínimo para dichos efectos directos.

VALORACIÓN DE TOROS EN CENTROS DE TESTAJE.

Dado que el sistema de reproducción utilizado en la mayoría de razas rústicas es la monta natural (MN), implicará la necesidad de evaluar los machos con la máxima rapidez posible, para que puedan empezar a cubrir en la primavera siguiente, ya que como hemos dicho, la vida productiva de un toro de MN es relativamente corta.

Esta selección individual de las aptitudes cárnicas (velocidad de crecimiento) se realizaría en los centros de testaje y para que dichas pruebas sean fiables:

1) El número de toros en comparación debe ser suficientemente elevado, para obtener una buena precisión en la evaluación de su valor genético. Se aconseja que para una presión de selección del 50%, se deben poner en testaje de 40 a 50 toros (8). Los animales se agrupan en lotes de 10 a 15 individuos según edades. Los toros de un mismo lote no deben diferir en más de 6 semanas y los de una misma serie en no más de 12 semanas.

2) Las condiciones de control deben ser lo más homogéneas posible, y deben permitir la máxima expresión de los componentes de las aptitudes cárnicas que se desean mejorar:

- Niveles de crecimiento elevado (hasta un óptimo).
- Eficacia de la capacidad de ingestión (se consigue dando una proporción de la dieta elevada de alimentos groseros).

3) Debe de existir un período de adaptación para paliar los efectos del crecimiento compensador de los individuos que han vivido en ambientes desfavorables, sobre el crecimiento durante la prueba.

Los controles que se realicen en dichos centros tienen que cumplir los siguientes requisitos:

1) El coste de dichos controles debe ser reducido, debido a que la utilización de estos toros es muy limitada y a que debemos evaluar el máximo número posible de toros.

2) La duración del control debe ser limitada (máximo 5 a 6 meses). Los machos entran después del destete (otoño) y han de salir valorados en primavera, para empezar a cubrir.

3) Se le debe dar mucha importancia a las aptitudes relacionadas con la reproducción (ya que son machos de MN):

- Morfología externa de los genitales.
- Comportamiento sexual (libido).
- Buena morfología en general (aplomos).

Se podría tener en cuenta en estos centros caracteres relacionados con la calidad de la canal (dependiendo de los objetivos del programa de mejora de la raza), utilizando para ello medidas corporales obtenidas con aparatos de ultrasonidos (1,18). No obstante, lo dejaremos como opcional y no los incluiremos en la valoración.

Los objetivos de selección perseguidos serán los siguientes:

1) Desarrollar el potencial de crecimiento muscular (velocidad de crecimiento).

2) Capacidad física de ingestión. En principio, el sistema de alimentación puede consistir en alimentos groseros (heno o ensilado) *ad libitum* y una complementación con concentrado limitado, aunque suficiente para obtener un nivel de crecimiento adecuado y programado anteriormente, ya que en las condiciones en que se realizan las valoraciones, no se trata de ir controlando las cantidades consumidas individualmente para apreciar su eficacia alimenticia.

Otra posibilidad, no tan buena desde un punto de vista genético pero apreciada por los ganaderos, sería que los animales pastaran libremente. En esta modalidad la capacidad de ingestión se ve enmascarada por otros factores, tales como la capacidad de pastoreo, lo que nos distorsionaría las valoraciones realizadas. Sin embargo, los ganaderos argumentan que los animales mejor valorados en estas condiciones serían los que mejor se adaptarían a su futuro medio.

MÉTODO.

Los toros entrarían en el centro de testaje aproximadamente a los 8 meses. El período de adaptación tendría una duración aproximada de 1 mes, y durante el mismo se realizarían las intervenciones de profilaxis y los controles sanitarios. Los toros reciben un régimen

alimenticio que asegure un nivel de crecimiento medio a elevado con el fin de adaptarse a las condiciones posteriores de alimentación y de control, y sobre todo para contrarrestar los efectos de los individuos criados en ambientes desfavorables con respecto al crecimiento compensador. El período de control debe durar al menos 4 meses, durante los cuales los toros reciben una alimentación que permita un nivel de crecimiento elevado, determinado a priori. Durante este período se realizan los controles de rendimientos: pesadas mensuales, así como al principio y al fin del control. Al finalizar el control se realizará la valoración morfológica que consistirá en puntuaciones subjetivas realizadas por expertos en cuatro aspectos fundamentales:

- Desarrollo muscular (armónico, penalizando una conformación excesiva).
- Desarrollo esquelético.
- Aptitudes funcionales.
- Adecuación al prototipo racial.

Después del período de control y antes de la difusión de los toros, un corto período de preparación (2 semanas) durante el cual se elaboran los resultados de las valoraciones. El concentrado se reduce y los toros se preparan para la venta o la reproducción, la cual se podría desarrollar mediante el sistema de subastas. Los toros valorados salen con una edad aproximada de 13,5 meses.

EVALUACIÓN.

Todos los toros de la serie son evaluados mediante un modelo animal, teniendo en cuenta el "grupo contemporáneo" que se corresponderá con los individuos de un mismo lote, para el carácter velocidad de crecimiento, tomando como criterio de selección el peso a edad tipo final (PETF). Paralelamente se realiza otra valoración para los caracteres de morfología.

La observación PETF viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{PETF} = \text{PETP} + (\text{GMD} \cdot d)$$

siendo,

PETP = peso estandarizado al iniciarse el período de control.

GMD = ganancia media diaria.

d = días de control.

El PETP se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{PETP} = (\text{PRIC} - \text{PN} / \text{edad en días}) \times 270 \text{ días} + \text{PN}$$

siendo,

PRIC = peso real al inicio del control.

PN = peso al nacimiento.

VALORACIÓN DE REPRODUCTORES EN GRANJA (CONTROL SOBRE DESCENDENCIA).

La elección de los reproductores sobre su valor genético predicho a partir de los rendimientos de sus descendientes, es un método que desde hace mucho tiempo ha demostrado su eficacia para la selección de toros destinados a la IA (preferentemente en vacuno de leche). No obstante, este método no garantiza, en principio, una evaluación tan eficaz para los toros de MN. Las razones pueden ser numerosas y diversas, pudiendo citar, entre otras:

1) Los toros de MN tienen un número limitado de descendientes (no comparable al vacuno de leche).

2) Apareamiento preferencial entre los reproductores.

3) Los toros a menudo son utilizados en un único rebaño (se anula prácticamente la base efectiva de comparación).

4) Diferencias genéticas entre los rebaños.

Estos problemas se pueden solucionar, en mayor o menor grado, en las valoraciones del vacuno de carne, utilizando para ello un modelo animal. Aquí enlazamos con la valoración propuesta anteriormente, en el capítulo que denominábamos valoración de reproductor joven. Con la utilización del modelo animal podíamos valorar conjuntamente los terneros (as), las vacas y los toros. Solventamos con ello los problemas de los apareamientos preferenciales (ya que tenemos en cuenta toda la información disponible) así como la tendencia genética de la población (al introducir la matriz de parentesco y opcionalmente el efecto grupo).

Sin embargo, todavía quedan dos cuestiones por resolver: la comparación de individuos entre "grupos con-

temporáneos" (principalmente entre rebaños y entre años), y la precisión de las valoraciones efectuadas debido a la poca descendencia que dejan estos reproductores. El hecho de que en numerosas ocasiones los toros son utilizados en un único rebaño, nos hace plantear la elección del término "rebaño", abandonando el concepto de explotación y ampliándolo a una determinada zona (pueblo, cooperativa, valle, comarca, etc.), en la cual asumamos un mismo ambiente común. Somos conscientes de que la solución de un problema puede acarrear otros, debido a la "amplitud" del núcleo de comparación que podría no corregir ciertos sesgos.

Un sistema de comparación indirecta, entre años y rebaños, de los toros sobre descendencia en granja se ha venido desarrollando durante la década de los 80 (4, 5, 6, 9, 10, 13). Se basa en la utilización de 3 machos, denominados "machos de referencia" o "toros de conexión", y como su nombre indica su función será la de establecer conexiones entre los rebaños y los años para que todos los toros de MN a evaluar puedan ser comparables entre sí. Esto implica disponer de una infraestructura mínima de IA.

Para cada campaña de reproducción (año) se utilizan 3 toros (ya evaluados favorablemente en años anteriores) de referencia para realizar las conexiones. Uno de los 3 toros se sustituye cada año, así cada toro de referencia se utiliza durante 3 campañas de reproducción:

- Se garantizan buenas conexiones entre años.

- No limita el número de toros puestos a disposición de los ganaderos del programa.

- No crea problemas de consanguinidad en las hembras de reposición (a tener en cuenta sobre todo en rebaños pequeños).

La elección de este nuevo toro de reposición se realiza por un grupo de ganaderos con el adecuado asesoramiento técnico. El ganadero utiliza 2 de estos 3 toros. Uno elegido según sus preferencias y otro impuesto por los técnicos del programa. Con esta imposición se asegura el dispositivo de conexión.

Siguiendo la Fig. 1, podemos observar que el rebaño A está conectado a través de los años 1 y 2 mediante el toro R2 y a través de los años 2 y 3 con el R3. Los años 1 y 3 están conectados indirectamente mediante el macho R2. Del mismo modo los rebaños A y B están conectados a través del toro R2 y así sucesivamente.

Por otra parte, debido a la débil difusión individual de un toro de MN, se estima que un coeficiente de determinación de 0,40 (fiabilidad de la valoración o cuadrado de la precisión de la valoración) es el mínimo que se puede aceptar (13). Para alcanzar tal fiabilidad (conocida también hasta hace pocos años como repetibilidad de la valoración) en las evaluaciones de los toros de MN sobre descendencia, se necesita un mínimo de descendencia de los dos tipos de progenitores: toros de MN y de referencia. El número de descendientes requeridos variará según la heredabilidad del carácter.

Foulley y Clerget-Darpoux (4) han calculado el número de descendientes aproximados que se necesitan para el caso de que se pongan a prueba 1, 2, 3 o más toros de MN en una explotación (asumiendo una $h^2 \approx 0,2$ en las estimaciones de campo para el carácter velocidad de crecimiento). Dado que es poco frecuente que una explotación ponga a prueba más de 3 toros simultáneamente a evaluar, se hace necesario disponer al menos de 20 a 25 descendientes controlados por toro de MN puesto a prueba, además de 15 a 25 descendientes de los toros de referencia. En rebaños que disponen de menos de 50 vacas reproductoras para esta evaluación, estos efectivos mínimos de descendientes no pueden obtenerse más que en dos campañas seguidas de reproducción (13).

Habíamos comentado que para que las valoraciones de los toros pudieran ser comparables entre sí, era necesario que dichos toros estuvieran conectados a través de los "grupos contemporáneos". Estas conexiones podían ser directas (dos toros tienen descendencia en el mismo "grupo contemporáneo") o indirectas (dos toros están conectados a través de un tercero, o a través de la matriz de parentescos). Para contrastar las conexiones de los

toros podemos seguir las normas dadas por el BIF (Beef Improvement Federation) de los EE.UU (2). A partir de un "modelo macho" absorbemos las ecuaciones de los "grupos contemporáneos" en las ecuaciones de los toros y luego comparamos, en la matriz de coeficientes resultante, los elementos de fuera de la diagonal (en valores absolutos). La observación de dichos coeficientes nos indicará las conexiones directas entre toros y las indirectas a través de otros toros. Para obtener las conexiones debidas a genealogía, sumamos a esta matriz la matriz de parentesco. El grado de conexión entre 2 toros dependerá del número de descendientes controlados. Los valores de conexión obtenidos se pueden incluir en un análisis de cluster (14), con lo cual obtendremos los grupos de toros que están mejor conectados (11). Los toros desconectados o débilmente conectados son excluidos de las valoraciones.

Del mismo modo, una débil conexión entre las subclases de los efectos fijos en un modelo puede tener serias consecuencias sobre la estimabilidad (estimación de efectos fijos). Si todas las subclases de los factores fijos están llenas (contienen al menos una observación) entonces los datos están completamente conectados y no existen problemas con la estimabilidad. Sin embargo, cuando algunas subclases están vacías, implica que dichas subclases no están conectadas, y algunas de las funciones de b pueden no ser estimables. Un procedimiento para determinar las conexiones es el propuesto por Weeks y Williams (16) que nos da el grado de conexión entre los niveles de un factor así como el grado de conexión del diseño completo, y de forma muy resumida, y siguiendo el ejemplo propuesto por Tosh y Wilton (15), consistiría en lo siguiente:

Consideremos 3 factores con sus correspondientes niveles ($n_A=2$, $n_B=4$, $n_C=6$). Escribimos todos los tripletes que especifican todas las subclases (i,j,k) ($i=2$, $j=4$, $k=6$), y los agrupamos en grupos llamados casi idénticos (si todos los indicadores del nivel son los mismos excepto para un factor). En el ejemplo propuesto obtendríamos 2 grupos de tripletes conectados:

Grupo 1	(1,1,1)	(1,2,2)	(2,1,6)
	(1,1,6)	(1,2,4)	(2,2,2)
	(1,2,1)	(2,1,1)	(2,2,6)
Grupo 2	(1,3,3)	(1,4,3)	(2,3,5)
	(1,3,5)	(2,3,3)	(2,4,5)

El grado de conexión entre los niveles de un factor vendría expresado por la siguiente fórmula:

$$c_i = n_{pi} / (n_i (n_i - 1) / 2)$$

donde,

n_{pi} = número de pares diferentes, existentes a través de todos los grupos para el i-ésimo factor.

n_i = número de niveles para el i-ésimo factor ($n_i \geq 2$).

El grado total de conexión para el diseño completo, considerando todos los factores, se define como:

$$c_T = (\sum n_{pi}) / (\sum (n_i (n_i - 1) / 2))$$

Los valores del grado de conexión varían entre 0 (todos los niveles de todos los factores están desconectados) y 1 (conexión completa).

Siguiendo el ejemplo obtendríamos las siguientes soluciones:

	Grupo 1	Grupo 2	n_{pi}	$n_i (n_i - 1) / 2$	c_i
Factor A	1-2	1-2	1	1	1.00
Factor B	1-2	3-4	2	6	0.33
Factor C	1-2, 1-4, 1-6, 2-4, 2-6, 4-6.	3-5	7	15	0.47

y el grado de conexión para el diseño completo sería por tanto,

$$c_T = 0.45$$

Según los resultados obtenidos las opciones podrían ser:

- Descartar todos los grupos pequeños y analizar solo los grupos grandes de subclases conectadas.
- Analizar cada grupo conectado separadamente.
- Recoger más datos de aquellas subclases que pueden aumentar la conexión entre grupos desconectados.

FIABILIDAD DE LAS VALORACIONES.

Una vez valorados genéticamente

todos los animales del programa (toros, vacas y terneros), sería interesante conocer las fiabilidades (repetibilidades) de dichas valoraciones. Para ello tendríamos que conocer las varianzas de los errores de predicción ($V(\hat{a}-a)$). Éstas se pueden obtener invirtiendo la matriz de coeficientes de las EMM:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{11} & C_{22} \end{bmatrix}$$

La submatriz C_{22} , resultante de la inversión de la matriz de coeficientes, nos da los valores de las varianzas de los errores de predicción. Sin embargo, la inversión de dicha matriz es prácticamente imposible en la práctica, y se hace necesario desarrollar nuevas estrategias.

La más sencilla es la propuesta por Chesnais y Song (3), y según dichos autores da unos buenos resultados prácticos. Consiste en computar la precisión de un índice de selección ($r_{IA} = \sigma_I / \sigma_A$) basado en las fuentes principales de información (rendimientos propios y descendientes) presentes en el modelo animal. Esta aproximación ignora muchos factores, pero sería un indicador "inferior" de la fiabilidad de las valoraciones, la fiabilidad verdadera sería generalmente superior a la obtenida.

Benyshek et al., (2) en el programa del BIF (USA), proponen computar el valor de la fiabilidad (REP), para los individuos con descendencia (toros y vacas), según la siguiente expresión:

$$REP = 1 - \sqrt{\frac{\text{Varianza del error de predicción}}{\text{Varianza aditiva del carácter}}}$$

De forma similar a lo comentado anteriormente, cuando calculábamos el grado de conexión de los toros, se absorben las ecuaciones de los "grupos contemporáneos" en las ecuaciones de los toros y vacas. Los elementos diagonal de la matriz resultante se sumaría con los elementos diagonal de la $(A^{-1}\alpha)$, siendo A la matriz de parentesco, lo cual nos serviría para computar las varianzas de los errores de pre-

dicción de toros y vacas. La fiabilidad para ambos se obtiene aplicando la fórmula anterior.

Las fiabilidades para los individuos sin descendencia (terneros) son computadas como una combinación lineal de las fiabilidades paternas.

La fórmula (3) para los animales con rendimientos propios sería:

$$REP = 1/4 (R_s + R_d) + \alpha \cdot \beta \left[1 + N \frac{1 - h^2}{4 - h^2} \right]$$

donde,

$$\alpha = 1 - 1/4 (R_s + R_d)$$

$$\beta = \frac{1}{\left[1 + \frac{1 - h^2}{h^2} \cdot \left(1 / \left(\alpha + \frac{N h^2}{4 - h^2} \right) \right) \right]}$$

siendo,

R_s = fiabilidad del padre.

R_d = fiabilidad de la madre.

N = número de descendientes del animal.

h^2 = heredabilidad del carácter.

Summary: Some of the genetic evaluation strategies of natural service sires are reviewed. We have considered more important the populations with maternal aptitude (most of them Spanish beef cattle). The problem of the degree of connectedness have had an especial attention in this article.

Key words: Beef Cattle. Animal Model. Reference Sires.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Arnold, J.W., Bertrand, J.K., Benyshek, L.L., Ludwig, C. Estimates of genetic parameters for live animal ultrasound, actual carcass data, and growth traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 69: 985-992. 1991.
2. Benyshek, L.L., Johnson, M.H., Little, D.E., Bertrand, J.K., Kriese, L.A. Applications of an Animal Model in the United States Beef Cattle Industry. *J. Dairy Sci.* 71 (S2): 35-53. 1988.
3. Chesnais, J.P., Song, H. Estimation of the genetic value of beef cattle from on-farm records using the animal model. *3rd World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding*. I: 219-237, INRA, Paris. 1988.
4. Foulley, J.L., Clerget-Darpoux, F. Progeny group size for evaluating natural service bulls using AI reference sires. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 10 (4): 541-556. 1978.
5. Foulley, J.L., Schaeffer, L.R., Song, H., Wilton, J.W. Progeny group size in an organized progeny test program of AI beef bulls using reference sires. *Can. J. Anim. Sci.* 63: 17-26. 1983.
6. Foulley, J.L., Bouix, J., Goffinet, B., Elsen, J.M. Comparaison de peres et connexions. *En: Insémination artificielle*

- et amélioration génétique: bilan et perspectives critiques. Les colloques de l'INRA. 29: 133-176. INRA, Paris. 1984.
7. Laloe, D., Menissier, F. Application of an Animal Model on a National Basis in the French Beef Cattle Industry. *En: 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. XV: 327-329, Edinburgh, UK. 1990.
 8. Menissier, F., Gaillard, J., Renand, G. Evaluation et sélection des taureaux de races a viande destines a la monte naturelle en France. I.- Le contrôle individuel en station. *37ème Reunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie*. Budapest, Hongrie. 1986.
 9. Menissier, F. La Selection des races bovines a viande specialisées en France. *3rd World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding*. 2: 215-236, INRA, Paris. 1988.
 10. Muñoz, A. Estimación del valor genético de toros de monta natural utilizando toros de I.A. de referencia. *Archivos de Zootechnia*. 37 (139): 261-273. 1988.
 11. Parnell, P.F., Baker, R.L., Foulley, J.L. The efficiency and place of multi-herd animal evaluation procedures for beef cattle. *3rd World Congress on Genetics Applied to Livestock Produc-*

- tion. IX: 373-388, Univ. of Nebraska, Lincoln, USA. 1986.
12. Quaas, R.L., Pollak, E.J. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. *J. Anim. Sci.* 51 (6): 1277-1287. 1980.
 13. Sapa, J., Menissier, F. Evaluation et sélection des taureaux de races a viande destines a la monte naturelle en France. II.- Le controle sur descendance en ferme. *37ème Reunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie*. Budapest, Hongrie. 1986.
 14. Tosh, J.J., Wilton, J.W. Degree of Connectedness in Mixed Models. *En: 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. XIII: 480-483, Edinburgh, UK. 1990.
 15. Weeks, D.I., Williams, D.R. A note on the determination of connectedness in an N-way cross classification. *Technometrics*. 6: 319-324. 1964.
 16. Westell, R.A. Simultaneous evaluation of sires and cows for a large population of dairy cattle. Ph.D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, NY. 1984.
 17. Westell, R.A., Quaas, R.L., Van Vleck, L.D. Genetic groups in an animal model. *J. Dairy Sci.* 71: 1310-1318. 1988.
 18. Wilson, D.O. Application of Ultrasound for Genetic Improvement. *J. Anim. Sci.* 70: 973-983. 1992.