

CAPÍTULO II

CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GENÉTICA CUANTITATIVA Y POBLACIONAL

- I INTRODUCCIÓN
- II MIDIENDO LA VARIACIÓN GENÉTICA
- III CONCEPTOS RELACIONADOS CON CAPACIDAD GENÉTICA
- IV ESTIMACIÓN DEL VALOR GENÉTICO EN TOROS
- V ESTIMACIÓN DEL VALOR GENÉTICO EN VACAS
- VI EVALUACIÓN SIMULTÁNEA PARA VARIOS CARACTERES
- VII RESUMEN Y CONCLUSIONES
- VIII LITERATURA CITADA

Omar Verde
Rodolfo Vaccaro
Lucía Vaccaro

I. INTRODUCCION

Los caracteres de importancia económica en el campo de la producción animal dependen de muchos pares de genes y muchos alelos y, además, están influidos por el ambiente. Estas características los diferencian de los caracteres cualitativos, que dependen de uno o muy pocos pares de genes y no son influidos por el ambiente. El tratamiento de estos caracteres, denominados cuantitativos, es muy diferente al de los caracteres cualitativos, pues el énfasis deberá ponerse en la población con que se trabaje y no en el individuo.

Así, en el estudio de los caracteres cuantitativos, una de las primeras observaciones que se hace es la de notar una gran variación o diferencias entre individuos de la población para el carácter en estudio. Si se toma, por ejemplo, el peso de los becerros en un hato a una determinada edad, se observará que muy pocos becerros tienen pesos extremadamente bajos, que el número de individuos (frecuencia) de pesos intermedios tiende a incrementarse hasta cierto valor y que luego comienza a declinar la frecuencia de pesos hasta llegar a valores infrecuentes de pesos elevados. Con un número de observaciones suficientemente grande, la distribución tiende a ser en forma acampanada o, más apropiadamente denominada desde el punto de vista estadístico, una distribución normal.

La variación observada para la característica tomada como ejemplo se presenta en forma similar en la mayoría de las características de importancia económica con que se trabaja en el campo de la producción animal. Esta variación puede ser atribuida a dos tipos de factores: los genéticos y los no genéticos. Los factores genéticos están dados por las vías que conducen al aporte de genes que determinan la característica en cuestión. El padre del becerro, la madre del becerro, el grupo racial, son factores genéticos que producen diferencias entre individuos.

Otro grupo de factores, por el contrario, no influyen a través de los genes sobre la característica. Así, por ejemplo, el mes de nacimiento del becerro influye por medio de la presencia de pastos de mejor o peor calidad para su madre, que causa una mayor o menor secreción láctea y, por consiguiente, un mayor o menor aporte de nutrientes para el becerro, lo que producirá, en general, becerros de mayor o menor peso al destete. Otros factores no genéticos que influyen en la característica peso del becerro son la edad de la madre al parto, el año de parto, el sexo del becerro (como efecto fisiológico), el sistema de manejo, etc.

II . MIDIENDO LA VARIACION GENÉTICA

Medir, para un carácter en una población, la parte de la variación que puede ser atribuida a efectos genéticos, es de gran importancia desde el punto de vista de la aplicación de métodos genéticos de mejoramiento de la producción. Si la variación del carácter es determinada en un alto porcentaje por los genes, la aplicación adecuada de los métodos genéticos para mejorar la característica producirá beneficios. Si, por el contrario, la variación del carácter no depende de efectos genéticos, la aplicación de metodologías genéticas no producirá ningún avance en la explotación.

La magnitud de la variación de la característica atribuible a efectos genéticos que se transmiten (efectos genéticos aditivos o valor de cría) es de importancia en el establecimiento de los métodos genéticos a utilizar y en la estimación de progreso a alcanzar por su aplicación. De allí que el índice de herencia (h^2) sea un parámetro genético necesario de calcular en la población donde se esté trabajando. El índice de herencia cuantifica el porcentaje de la variación fenotípica o total para una característica en una población que es atribuible a efectos genéticos aditivos. El valor de este índice fluctúa entre 0 (0 %) y 1 (100 %). Si es cero, implica que las diferencias entre individuos son causadas por efectos no genéticos aditivos. Si, por el contrario, el valor es de 1, indica que las diferencias son atribuibles exclusivamente a los efectos genéticos aditivos.

Entonces, una necesidad en el proceso de evaluación genética de reproductores, es la de estimar o calcular el índice de herencia para el o los caracteres de interés. Este parámetro, luego de conocido, podrá ser incorporado en las diferentes fases del proceso, para así obtener otros estimadores de interés.

Otro parámetro genético de gran importancia es el denominado índice de repetición (r). Este índice mide la probabilidad con que el valor de una observación puede repetirse en el tiempo. Desde el punto de vista de la variación, mide la proporción de la variación fenotípica de observaciones repetidas de un carácter que puede ser atribuible a efectos genéticos (aditivos y no aditivos) y a los efectos ambientales permanentes.

La magnitud de este parámetro permitirá que se tomen decisiones apropiadas en la población en relación al número de registros u observaciones a considerar por animal en el proceso de evaluación genética, en el caso de caracteres que puedan ser medidos en forma repetida en el mismo animal

como, por ejemplo, la producción de leche por lactancia, el intervalo entre partos, etc.

Las diversas características observables en el individuo frecuentemente no son independientes. El parámetro estadístico utilizado para medir y expresar el grado de asociación entre dos variables es la correlación. Interesa distinguir tres tipos de correlación, desde el punto de vista del mejoramiento genético:

- 1 Correlación fenotípica: es la correlación entre dos características tal como se observan en los animales.
- 2 Correlación ambiental: la que surge como consecuencia del efecto simultáneo del ambiente sobre dos características
- 3 Correlación genética: ocasionada por efecto pleiotrópico de los genes y por ligamiento entre los genes que afectan dos caracteres.

El conocer el valor de las correlaciones genéticas entre caracteres es de importancia para la elaboración de planes de mejora, pues debe incorporarse en la predicción de la respuesta correlacionada, en la evaluación del valor de la selección indirecta, en la predicción del progreso esperado en un ambiente cuando se hace la selección bajo otro ambiente y en la confección de índices de selección.

Es importante señalar que los parámetros genéticos de cada característica son estrictamente válidos para la población y el tiempo evaluados, así como también la falta de estimados confiables en ganado de doble propósito, por lo que se debe ser muy cuidadoso en su utilización.

III. CONCEPTOS RELACIONADOS CON CAPACIDAD GENÉTICA

En relación a la capacidad genética de un reproductor, se considera necesario definir los siguientes conceptos:

- a Valor genotípico: Es la suma de los efectos de los genes que un individuo posee para un determinado carácter, además de las interacciones entre esos genes. Su evaluación solo es posible a través de la medición del comportamiento de un individuo en relación a

sus contemporáneos mantenidos bajo iguales condiciones ambientales.

- b **Valor genético aditivo (valor de cría o habilidad transmisible):** Es la suma de los efectos aditivos de los genes que un individuo posee para un determinado carácter. El doble de la desviación media a partir del promedio de la población, de los hijos de un semental apareado con un grupo de hembras asignadas al azar, mide el valor genético aditivo de ese semental.
- c **Diferencia predicha o habilidad transmisible predicha:** Es la desviación del promedio de los hijos de un semental apareado a un grupo de hembras asignadas al azar, con respecto a la población donde fue utilizado. Es, concretamente, la mitad del valor genético aditivo.

Si se logra obtener estimados del valor genético (valor genotípico, valor genético aditivo, diferencia predicha o habilidad transmisible predicha) de un animal, se hace necesario medir el grado de exactitud del estimado, a fin de tener una idea precisa del riesgo que se puede correr con el uso de ese reproductor. Para ello, se manejan dos conceptos:

- 1 **Precisión, que mide la correlación existente entre el valor genético estimado y el valor genético real.**
- 2 **Repetibilidad o confiabilidad, que es el cuadrado del valor de la precisión e indica el grado de exactitud con que se repite el estimado actual del valor genético obtenido a partir de la prueba de progenie en el futuro, al incorporar mayor cantidad de información.**

Si la precisión, confiabilidad o repetibilidad están cercanas a cero, indicarán que existe poca relación entre el valor genético estimado y el real y, en definitiva, poca confiabilidad en ese estimado. Por el contrario, un valor cercano a la unidad señalará gran precisión en la estimación y, por consiguiente, gran confiabilidad.

IV. ESTIMACIÓN DEL VALOR GENÉTICO EN TOROS

- a **Información del propio individuo.**

Para la estimación del valor genético de un reproductor se hace

necesario tener presente la notable influencia que ejercen muchos efectos no genéticos sobre los caracteres cuantitativos, por lo que conviene expresar la medición realizada en el individuo como desviación del promedio del grupo de contemporáneos. Esta desviación estima el valor genotípico del animal y permitirá ser incorporada en la evaluación genética de ese individuo, de sus medio hermanos, de sus progenitores o de sus descendientes.

Esta misma desviación permitirá estimar el valor genético aditivo mediante la utilización de la fórmula:

$$\text{VGA} = h^2(X - \bar{X}_p)$$

donde:

- VGA = estimado del valor genético aditivo
- h^2 = índice de herencia del carácter en consideración
- X = valor fenotípico observado en el animal
- \bar{X}_p = promedio del grupo de contemporáneos

La precisión de este estimado de valor genético aditivo, a partir de una sola medición o información del propio animal, es igual a la raíz cuadrada del índice de herencia.

b Otras fuentes de información.

Se puede hacer uso de la información de los antecesores (valor genético aditivo estimado para padre, madre y/o abuelos), lo que permitirá obtener un estimado del valor genético aditivo de un individuo pero con una precisión menor que aquella cuando se dispone de la información del propio animal.

Con información de un solo padre, se debe dar un peso de $h^2/2$ al valor de desviación respecto al promedio observado en ese padre, para obtener el estimado del valor genético aditivo del individuo y la precisión del estimado será la mitad de la precisión del estimado a través de la información del propio individuo, es decir $\sqrt{h^2/2}$

Con ambos padres con información, se debe dar un peso de $h^2/2$ al valor de desviación respecto al promedio observado en cada padre, para el estimado del valor genético aditivo del individuo, y la precisión será de $\sqrt{(2h^2)/2}$

Si se dispone de información de n medios hermanos, cada uno con un registro y con igual parentesco entre si (25 %), se podrá utilizar la informa-

ción obtenida para ellos a fin de obtener un estimado del valor genético de un determinado animal. Para ello, se obtendrá el valor fenotípico de cada medio hermano, expresado como desviación del promedio de contemporáneos de la población a la cual pertenece. El promedio de las desviaciones de los valores fenotípicos se multiplica por el factor $n.h^2/[4+(n-1).h^2]$ y se tendrá un estimado del valor genético aditivo del individuo en estudio. La precisión del estimado del valor genético en base a los medio hermanos se obtiene mediante la utilización de la fórmula:

$$\sqrt{(1/4).n.h^2/[4+(n-1).h^2]}$$

Finalmente, puede recurrirse a la utilización de la progenie para obtener estimados del valor genético aditivo para una característica. Así, por definición, el valor genético aditivo de un animal es el doble de la desviación del promedio de los hijos con respecto al promedio de la población.

Los hijos de un toro, al que le fue asignado al azar un determinado número de vacas, mostrarán la capacidad genética de su padre. Se expresan sus valores fenotípicos como desviaciones del promedio de la población a la cual pertenecen, se promedian las desviaciones y luego se multiplica por el factor de ponderación

$$2.n.h^2/[4+(n-1).h^2]$$

donde n = número de hijos del toro, cada uno con un registro

La precisión de la estimación del valor genético aditivo en base a la prueba de progenie se obtiene a partir de la fórmula:

$$\sqrt{n.h^2/[4+(n-1).h^2]}$$

c Combinando información de varias fuentes.

Usualmente se dispone de varias fuentes de información que pueden ser utilizadas simultáneamente para la estimación del valor genético aditivo. Es frecuente disponer de información del propio individuo, de medio hermanos y/o progenie. La adición de fuentes de información permite incrementar la precisión del estimado.

El estimado del valor genético aditivo de un individuo, conociendo la información del propio individuo, de su padre, de su madre, de medio

hermanos paternos, medio hermanos maternos y de su progenie, se obtiene mediante la resolución de un sistema de ecuaciones que incluye índice de herencia, parentesco y número de observaciones en la correspondiente fuente de información. En forma general, el sistema de ecuaciones puede escribirse de la siguiente manera:

$$\tilde{X} = \begin{vmatrix} X_1 & h^2/2 & h^2/2 & h^2/4 & h^2/4 & h^2/2 \\ h^2/2 & X_2 & 0 & h^2/4 & 0 & h^2/4 \\ h^2/2 & 0 & X_3 & 0 & h^2/4 & h^2/4 \\ h^2/4 & h^2/4 & 0 & X_4 & 0 & h^2/8 \\ h^2/4 & 0 & h^2/4 & 0 & X_5 & h^2/8 \\ h^2/2 & h^2/4 & h^2/4 & h^2/8 & h^2/8 & X_6 \end{vmatrix}$$

$$\tilde{b} = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{vmatrix} \quad Y = h^2 \begin{vmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 1/2 \\ 1/4 \\ 1/4 \\ 1/2 \end{vmatrix}$$

donde:

$$X_i = \frac{1 + (n_i - 1).r}{n_i} + (p_i - 1).a_{ii}.h^2$$

h^2 = índice de herencia para el carácter en estudio

n_i = número de registros de la fuente de información correspondiente
 p_i = número de individuos en el grupo familiar (hermanos (as) y crías).
 a_{ij} = parentesco entre individuos del mismo grupo familiar
 r = repetibilidad de la característica

El sistema de ecuaciones a resolver se plantea, mediante notación matricial, de la forma:

$$\begin{matrix} X & \cdot & b & = & Y \\ \sim & & \sim & & \sim \end{matrix}$$

Si para un individuo no se dispone de toda la información requerida, bastará con eliminar la fila y columna asociada con la información faltante.

La solución del sistema de ecuaciones proporciona los valores de b_i que serán los pesos a utilizar en el cálculo del valor genético aditivo.

$$VGA = \sum (b_i \cdot V_i)$$

donde V_i corresponde a la desviación promedio del individuo o grupo familiar i con respecto a su grupo (V_1 : propio individuo,

V_2 : padre, V_3 : madre, V_4 : medio hermanos paternos, V_5 : medio hermanos maternos, V_6 : progenie).

La precisión del estimado se obtiene mediante la fórmula:

$$P = \sqrt{\frac{1}{[b_1 + (1/2)b_2 + (1/2)b_3 + (1/4)b_4 + (1/4)b_5 + (1/2)b_6]}}$$

Si se utiliza información de una sola fuente, la solución de la ecuación resultante proporciona el factor de ponderación y la precisión señalada con anterioridad.

En los documentos elaborados por ALPA (1988) se describe en detalle el proceso de evaluación genética de toros de carne, leche y doble propósito. Se plantea la posibilidad de realizar la evaluación genética en base a las fuentes de información mencionadas, las ventajas y desventajas que tendría su utilización y se presentan recomendaciones prácticas en este aspecto, especialmente en lo relacionado al carácter producción de leche, que por estar limitada su expresión a las hembras, se dificulta la evaluación genética de los toros.

V. ESTIMACIÓN DEL VALOR GENÉTICO EN VACAS

La evaluación genética de hembras, en cuanto al carácter producción de leche, presenta la ventaja de poderse tener mediciones repetidas de su capacidad lechera. Por otro lado, presenta la desventaja de no poderse acumular mucha información del propio individuo, por el largo período necesario para obtener un número reducido de lactancias.

Para evaluar genéticamente a las hembras, básicamente se debe recurrir a los mismos conceptos señalados en la evaluación de toros, pudiéndose disponer de información del propio individuo, de los padres, medio hermanas paternas y medio hermanas maternas.

Es necesario enfatizar la necesidad de expresar cada medición realizada en las diversas fuentes de información como desviación del promedio de contemporáneos, a fin de garantizar una estimación apropiada de los valores genéticos.

VI. EVALUACIÓN SIMULTANEA PARA VARIOS CARACTERES

Cuando un productor desea seleccionar simultáneamente para varias caracteres, se debe recurrir a la utilización de un índice de selección que incluya para cada animal los valores fenotípicos estimados para cada característica y las ponderaciones a asignar. Los valores fenotípicos deberán estar expresados como desviación del promedio de los contemporáneos y utilizados para calcular el valor genotípico mediante el uso de la metodología descrita en la sección anterior. Para calcular los factores de ponderación deberá realizarse el siguiente procedimiento:

- a Obtener las ponderaciones económicas para cada carácter (a_i).
- b Obtener las variancias genéticas y fenotípicas para cada carácter [$\sigma(G)_{ii}$, $\sigma(F)_{ii}$].
- c Obtener las covariancias genéticas y fenotípicas entre cada par de caracteres [$(\sigma G)_{ij}$, $\sigma(F)_{ij}$].
- d Desarrollar el sistema de ecuaciones:

$$\underset{\sim}{\sigma}(F).\underset{\sim}{b} = \underset{\sim}{\sigma}(G).\underset{\sim}{a}$$

donde:

$\underset{\sim}{\sigma}(F)$ = matriz de variancias y covariancias fenotípicas.

$\underset{\sim}{b}$ = vector de los factores de ponderación (incógnitas).

$\underset{\sim}{\sigma}(G)$ = matriz de variancias y covariancias genotípicas.

$\underset{\sim}{a}$ = vector de ponderaciones económicas.

e Resolver para $\underset{\sim}{b}$ el sistema de ecuaciones establecido.

f Construir el índice de selección:

$$I = \sum(b_i.X_i)$$

donde:

b_i = factor de ponderación para un carácter

X_i = valor fenotípico para el carácter i , expresado como desviación

Nuevamente se hace referencia al documento de ALPA (1988) donde se señala la dificultad de construir índices de selección válidos debido a la falta de información sobre parámetros fenotípicos y genéticos requeridos, además de las grandes fluctuaciones en los valores económicos relativos.

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describe en forma sencilla algunos conceptos básicos de genética cuantitativa y poblacional necesarios para entender y realizar en forma apropiada la evaluación genética de reproductores bovinos. Se definen parámetros para medir la variación genética de una población y para estimar el valor genético de un individuo. Se describe la metodología

para la evaluación genética de reproductores mediante la utilización de información del propio individuo, padres, medio hermanos y/o progenie y la construcción de índices de selección para la evaluación simultánea de dos o más caracteres.

Se concluye con que es relativamente sencilla la estimación del valor genético con la información del individuo y para una característica, siempre que se disponga de información del grupo de contemporáneos, y lo difícil que resulta su estimación cuando se trata de seleccionar para varias características y usando información variada (de distintos grupos de parientes).

VIII. LITERATURA

- Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). 1988. Normas de Evaluación Genética de Reproductores Bovinos de Carne en el Trópico de América Latina. En prensa. 68 pp.
- Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). 1988. Normas de Evaluación Genética de Reproductores Bovinos de Leche y Doble Propósito en el Trópico Latinoamericano. En prensa.