

Capítulo XII

Interacción genotipo-ambiente en la evaluación animal

Yenen Villasmil-Ontiveros, MSc

“un genotipo ideal para todos los propósitos y todos los ambientes es una utopía”

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo los criadores y ganaderos han buscado al animal “ideal”, aquel que en cualquier ambiente pueda producir suficiente leche y carne, un genotipo animal que satisfaga o maximice el beneficio económico de la empresa ganadera. Desafortunadamente no hay una respuesta única a esa búsqueda. La elección del genotipo ó de los genotipos adecuados para cada explotación (y no para todas las que integran el sistema) dependerá de una serie de factores entre los cuales podemos mencionar la modalidad de producción (Vaca-Becerro, Vaca-Maute, Vaca-Novillo), la zona agroecológica, las fuentes de alimentación a disposición, la tendencia de producción (carne o leche) y el nivel de manejo de la explotación, entre los principales.

A pesar de que existen muchos mitos, la mejora genética de los rebaños teóricamente no es un proceso complicado; aparear los mejores animales entre si determina un progreso genético continuo. La magnitud de la respuesta depende de factores como la variación del componente genético aditivo del carácter considerado, la proporción de animales utilizados como reproductores y de la exactitud con la que los mismos son evaluados. Lo importante es determinar cuáles características son las que mejoran el beneficio económico y cuáles son los mejores animales para las mismas, para luego dirigir los apareamientos con criterios confiables.

Las condiciones ambientales tropicales definen una gran cantidad de zonas agroecológicas, que en conjunto con una serie de elementos que interactúan de manera dinámica, imposibilitan elegir un genotipo único para todas las explotaciones de una región determinada. Entre los elementos se puede mencionar la idiosincrasia de los criadores, las tendencias de las explotaciones doble propósito, los niveles variables de tecnología aplicada a los sistemas, la gran cantidad de razas utilizadas para produ-

cir leche y carne, la diversidad de criterios entre los asesores técnicos y las modas en el uso de tecnologías, entre otros.

CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES

El rendimiento de un animal para una determinada característica se conoce como valor fenotípico y en su expresión más simple, depende del componente genético animal y de las condiciones ambientales en las cuales se desempeña. Estos conceptos se relacionan a través de la fórmula siguiente (Fisher, 1917):

$$P = G + E \quad (1)$$

donde **P** es el valor fenotípico, **G** es el valor genético y **E** es la desviación ambiental.

Esta fórmula además sirve como fundamento para el estudio de la variación de las características de una población. Esta variación es expresada a través de las varianzas. De esta manera, sustituimos los elementos por sus respectivas varianzas y se obtiene la contribución de cada uno de los componentes a la variación total, lo que se representa de la siguiente manera:

$$V_P = V_G + V_E \quad (2)$$

donde V_P es la varianza total de la característica, V_G es la varianza atribuible al componente genético y V_E es la varianza del componente ambiental.

No obstante, la sencillez de esta ecuación involucra la definición de una situación bastante compleja, como es la expresión de una característica productiva. En tal sentido, existen dos componentes que no son considerados expresamente en esta fórmula y que frecuentemente deben ser incluidos en la misma. En primer lugar se asume, que los genotipos son afectados por diferentes ambientes en la misma magnitud, aún sabiendo que en condiciones tropicales la mayoría de las veces esto no es real, por tanto es necesario incluir un componente adicional a la fórmula como lo es la interacción Genotipo-Ambiente (IGA). El segundo elemento omitido en esta ecuación es la correlación genotipo-ambiente, por lo cual se asume que la variación ambiental y los valores genotípicos son independientes, situación que no es del todo cierta, de lo cual el ejemplo más conocido es el manejo que se da con la suplementación alimenticia. En el trópico donde la alimentación se fundamenta en el pastoreo, se recomienda ofrecer mayor cantidad de alimento concentrado a las vacas más productoras, con la finalidad de suplir las necesidades nutricionales que exige el proceso de lactación.

Estas implicaciones determinan que se incluyan en la fórmula inicial dos componentes adicionales y se represente de la manera siguiente:

$$P = V_G + V_E + V_{GE} + 2COV_{GE} \quad (3)$$

donde V_{GE} es la varianza de de la IGA y COV_{GE} es la covarianza entre el genotipo y el ambiente.

EL AMBIENTE Y SU INTERACCIÓN CON EL GENOTIPO

El ambiente en los estudios genéticos se refiere a todas aquellos factores que intervienen en el fenotipo del individuo y que no tienen su origen en los genes. Algunos son de naturaleza sistemática entre los cuales podemos mencionar: zona agroecológica, número de partos, año, mes ó época del año, sexo, manejo aplicado al rebaño en el cual se incluye el manejo alimenticio, sanitario, reproductivo y cualquier otro efecto que pueda evaluarse diferente a los anteriores; y un grupo de efectos de naturaleza no sistemática o intangibles que son de difícil evaluación aún bajo condiciones experimentales.

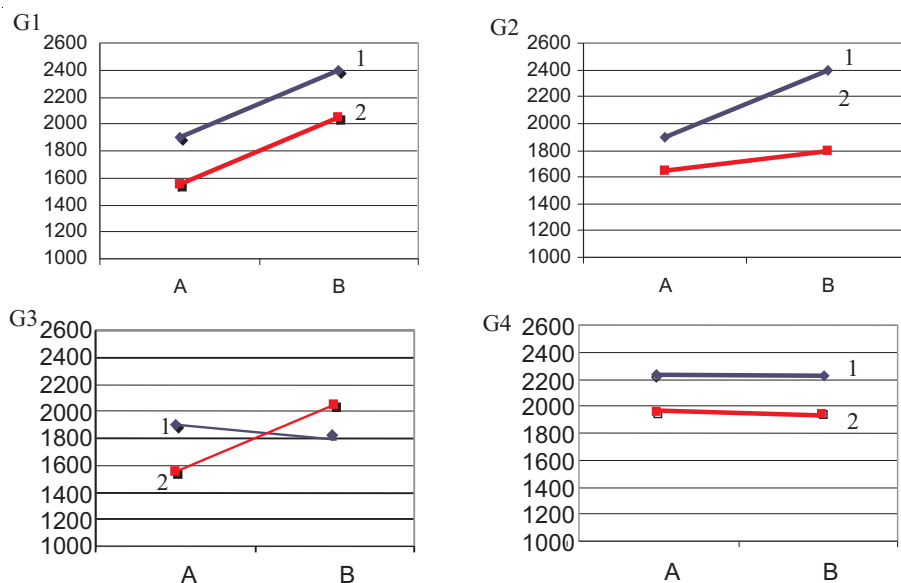
En un estudio de características de interés económico aunque el componente ambiental no modifica la composición genética de los individuos *per se*, si afecta la magnitud en la cual se va a expresar el genotipo del individuo (Telo da Gama, 2002), es decir, que el ambiente en el cual se desempeña el individuo puede determinar un incremento ó una disminución del valor fenotípico del animal y aunque pudiese asumirse que el efecto de un ambiente determinado es similar para todos los genotipos, esto no es correcto ni justificable en la mayoría de los casos (Falconer y Mackay, 2001).

La IGA se presenta cuando el ambiente afecta de manera diferente a dos o más genotipos, modificando las diferencias entre los grupos e incluso cambiando el orden de los mismos (Figuras G2 y G3). Desde el punto de vista estadístico, si las líneas tienen pendientes diferentes y no son paralelas, se dice que estamos en presencia de una IGA (Falconer y Mackay, 2001). Caso contrario cuando la pendiente de las rectas sea similar y por consiguiente paralelas, se determina que no hay IGA.

En las Figuras G1 y G2, la raza 1 es superior en los dos ambientes por lo que sería sencillo tomar una decisión en el proceso de selección; no obstante en la Figura G3 la diferencia en la expresión hace que se invierta el orden de superioridad de los genotipos y supondría la elección del genotipo 1 para el ambiente A y el genotipo 2 para el ambiente B.

Producción de leche de dos genotipos (1 y 2) en dos ambientes diferentes (A y B). En el eje de las Y se presenta la producción de leche (kg) y en el eje X, los ambientes. En los gráficos G1 y G4 las diferencias entre los genotipos son similares en los dos ambientes, por tanto, no existe IGA. En los gráficos G2 y G3, la magnitud de la diferencia entre los genotipos se modifica cuando se comparan los dos ambientes; incluso en el G3 se modifica la jerarquía porque en el ambiente A se comporta mejor el genotipo 1, mientras que en el ambiente B lo hace mejor el 2.

El concepto de interacción se extiende a otros campos de la producción animal. La interacción puede darse entre zonas agroecológicas diferentes e incluso entre fincas contiguas dentro de una misma zona, en cuyo caso las condiciones de manejo específicas dentro de cada explotación jugarían un papel preponderante. Konig *et al.* (2005) soportando la idea de Weigel y Rekaya (2000), sugieren que para las evaluaciones genéticas de regiones y países, el tamaño de la explotación y las prácticas de manejo son más importantes que las líneas limítrofes. Por otro lado, siendo más específicos y observando desde una perspectiva local, las interacciones pueden relacionarse a razas, líneas ó toros, y determinarían la capacidad de



Figuras. G1, G2, G3 y G4

los genes de una determinada raza ó individuo para adaptarse y producir bajo las condiciones imperantes en ese ambiente específico.

IMPLICACIONES EN LA GANADERIA ZULIANA

La ganadería zuliana durante varias décadas se ha caracterizado por el uso de gran variedad de razas bovinas en cruces entre animales de herencia *Bos taurus* y *Bos indicus: tauro-indicus* tanto para la producción de carne como para la producción de leche. Los cruces van dirigidos a complementar la producción de las razas especializadas con la rusticidad de las razas adaptadas. Estos cruces aunque son recomendados ampliamente para la producción en el trópico al mantener los efectos heteróticos (Aranguren y Yañez, 2005), muchas veces no se realizaron con criterios objetivos, lo que impidió que el progreso genético fuese rápido y sostenido; el resultado de estos cruces es un animal mestizo indefinido con genes de una gran variedad de razas y a los cuales se les conoce como “mosaico”.

Con la finalidad de ejemplificar y aclarar algunas ideas relacionadas con la IGA y su aplicación práctica sobre la elección de los toros utilizados como reproductores, se analizaron registros de animales mestizos de doble propósito producto del cruzamiento alterno de las razas Brahman rojo y Holstein rojo de dos explotaciones en el estado Zulia. Para el análisis de la producción láctea se utilizaron registros de más de 9000 individuos y alrededor de 18000 lactancias de ambas fincas; se realizó el análisis utilizando la metodología del modelo animal donde se consideraron como efectos fi-

jos predominio racial, finca, época y la interacción predominio racial*finca, también se incluyeron en el modelo los efectos aleatorios genético aditivo, los ambientales (permanente y temporal) y el error (Aranguren *et al.*, 2007). A continuación se describen las características de las explotaciones evaluadas:

Finca 1: ubicada en el municipio Machiques de Perijá en una zona de vida de bosque sub-húmedo tropical con una temperatura promedio de 28,3°C y una precipitación anual de 1953 mm/año distribuida bimodalmente con épocas de mayor precipitación entre los meses de Abril-Junio y Septiembre-Noviembre. La alimentación está basada en el pastoreo de potreros donde predomina el pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) y se ofrecen minerales *ad-libitum*. El ordeño se realiza con apoyo del becerro hasta el destete cercano a los 8 meses de edad.

Finca 2: se ubica en el municipio Rosario de Perijá en una zona de vida de bosque seco tropical, con temperatura y precipitaciones media de 28,7 °C y 1447 mm/año, respectivamente. La distribución de las lluvias es similar pero en esta explotación predominan potreros con pastos Guinea (*Panicum maximun*) y Humidícola (*Urochloa humidicola*).

En ambas fincas se utiliza la inseminación artificial como herramienta reproductiva y los animales que no logran concebir luego de tres inseminaciones son servidas utilizando la monta natural controlada.

En este análisis, solo el predominio racial fue significativo con una superioridad cercana a los 300 kg de leche por lactancia en los genotipos predominantemente *taurus* (1801 vs 1505 kg). Los valores de los componentes de varianza son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1
Componentes de varianza, heredabilidad y repetibilidad de la producción de leche ajustada a 244 en una población cruzada de doble propósito en estado Zulia

Componentes	Parámetros
$\sigma_a^2 = 71094,67$	$h^2 = 0,46$
$\sigma_c^2 = 24789,83$	$r = 0,62$
$\sigma_e^2 = 57247,70$	
$\sigma_p^2 = 153132,20$	

σ_a^2 = Varianza Genética Aditiva, σ_c^2 = Varianza Ambiental Permanente, σ_e^2 = Varianza Ambiental Temporal, σ_p^2 = Varianza Fenotípica, h^2 = Heredabilidad, r = Repetibilidad.

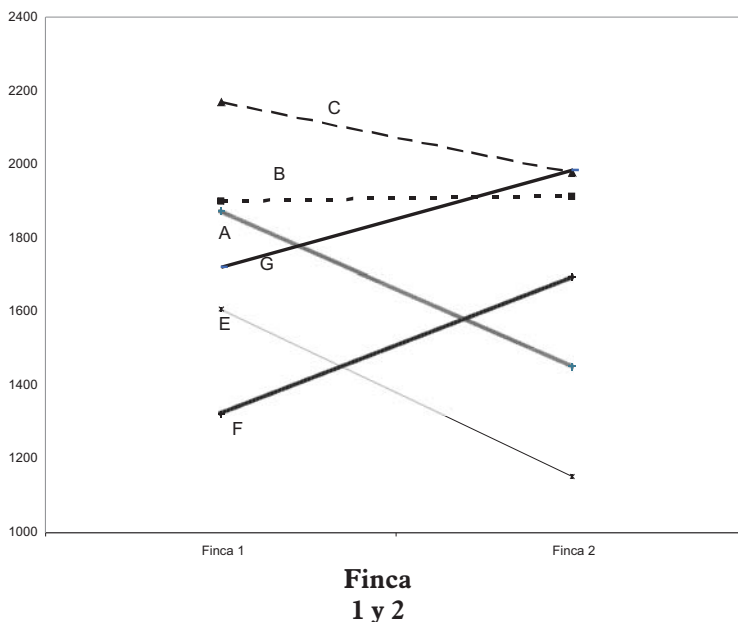
Los altos valores en los parámetros de heredabilidad y repetibilidad indican, en primer lugar, que existe un alta grado de variación producto de los genes con efectos aditivos, por lo tanto, si esta característica se incluye en un programa de selección se logrará un progreso genético rápido. Adicionalmente la repetibilidad expresa que existe una relativamente alta correlación entre las lactancias consecutivas, evaluadas como mediciones sucesivas del mismo animal, razón por la cual se espera que las lac-

tancias siguientes sean muy parecidas a las observadas previamente. En ese caso individuos con lactancias muy por debajo de la media de la población tienen pocas posibilidades de mejorar en el transcurso de su vida productiva.

Al evaluar toros se ha señalado que la simplificación en la estimación de los valores de cría (sin incluir la IGA) facilita la interpretación y los procedimientos estadísticos, pero a la vez disminuye la confiabilidad de las evaluaciones genéticas (Henderson, 1984; Ceron-Muñoz *et al.*, 2001). De manera práctica es importante a nivel de los productores conocer el rendimiento de los toros de inseminación artificial (IA) en los diferentes ambientes, ya que de las tecnologías de la reproducción, la IA es la vía más sencilla y económica para introducir genes favorables al rebaño.

Para realizar un análisis profundo de los sementales en las explotaciones y conocer si existe IGA se graficaron los valores de cría de 6 toros con descendientes en los dos ambientes evaluados. En la Figura 1 se muestran las Diferencias Esperadas en la Progenie (DEP) para la producción de leche ajustada a 244 días. Se observa que el rendimiento de su progenie depende de donde se evalúa. Las hijas de los toros A, C y E se comportaron mejor en la finca 1 que en la finca 2. Por el contrario, para las hijas de los toros F y G, el ambiente 2 resultó ser favorable, mientras que para la progenie del toro B no hubo gran efecto ya que las diferencias fueron de solo 13 kg.

Esta información debe ser de utilidad para orientar al ganadero en la elección de los toros para su finca. Si queremos elegir el mejor toro para nuestras vacas elite la elección del toro C es indiscutible, ahora si se quieren elegir tres toros para cada finca la decisión es diferente. Para la finca A, los toros C, B y A, y en ese orden de jerarquía conformarán el grupo, mientras que para la finca B se utilizarían los toros C, G y B.



De incluir un cuarto toro en cada uno de los ambientes, en la finca se utilizaría el G mientras que en la finca 2 se recomendaría el F. Un criador que decida utilizar en la finca 1 el toro G en lugar del A, estaría renunciando a una progenie que teóricamente y en promedio, produciría 153 kg. más por lactancia por animal (progenie de A 1875 vs progenie de G 1722kg).

La existencia de una IGA indicaría también que no existe una correlación genética perfecta entre los valores de cría de las dos fincas, Cerón-Muñoz *et al.* (2001) reportaron IGA en ganado Holstein en cuatro regiones colombianas, con correlaciones genéticas cuyo límite inferior es 0,70 y se considera que 0,80 es el valor umbral para determinar que no hay IGA (Robertson, 1959).

Estos resultados en general confirman, que existe gran variación de carácter genético en la población analizada y que la producción de leche en el trópico en los animales cruzados, es el resultado de relaciones complejas entre el Genotipo, el Ambiente y la(s) interacción(es) Genotipo-Ambiente, por lo cual la elección de los reproductores para los programas de mejoramiento no debería ser realizada extrapolando estimaciones de valores de cría de otras latitudes u otros ambientes. Las evaluaciones genéticas de poblaciones bovinas puras y cruzadas en nuestras condiciones tropicales deben incluir la IGA ya que las diferencias en los valores de cría estimados sugieren que la elección de los reproductores no es sencilla considerando todos los factores ambientales involucrados.

CONCLUSIÓN

Los resultados nos permiten concluir que las relaciones entre el genotipo y el ambiente son complejas y que la IGA está presente en nuestras poblaciones por tanto deben ser consideradas en las evaluaciones genéticas. Adicionalmente, en el proceso de elección de los toros como reproductores, se deben considerar las estimaciones generadas en cada uno de los ambientes evaluados para garantizar la elección que optimice el progreso genético.

LITERATURA CITADA

- Aranguren-Méndez J, Román-Bravo R, Villasmil-Ontiveros Y; Yañez-Cuellar L. 2007. Evaluación genética de la ganadería de doble propósito en Venezuela. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 15 (Supl.1): 241-250.
- Aranguren-Méndez J, Yañez-Cuellar L. 2005. Planifique sus cruzamientos. En: Manual de Ganadería Doble Propósito. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.) Ediciones Astro Data, S.A. Maracaibo-Venezuela. I (2): 119-124.
- Cerón-Muñoz M, Tonhati H, Costa C, Benavides F. 2001. Interacción genotipo-ambiente en ganado Holstein colombiano. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 15 (Supl.1): 241-250.
- Falconer DS, Makay TFC. 2001 Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza-España. pp 469.
- Fisher RA.1918. The Correlation Between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance. *Royal Society (Edinburgh) Transactions*, 52, 399-433.

Gama L. 2002. *Melhoramento Genético Animal*. Escolar Editora, Portugal. 306 pp.

Konig S, Dietl G, Raeder I, Swalve H. 2005. Genetic relationships for dairy performance between large-scale and small-scale farm conditions. *J Dairy Sci* 88: 4087-4096.

Robertson A. 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics* 15: 469-485.