

USO DEL CRUZAMIENTO ENTRE RAZAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN ANIMALES. I. CONCEPTOS.

Ings. Agrs. Juan Carlos Magofke S. y Ximena García F.

Introducción.

El cruzamiento entre razas o de líneas genéticamente distantes es un sistema muy usado en el mejoramiento de la productividad, tanto en animales como en vegetales. Los sistemas que permiten obtener los mejores beneficios son muy variados y dependen de las características propias de cada especie. Cualquiera sea, sin embargo, el sistema que mejor se adapte a una situación en particular, descansan en premisas que son comunes, por tal motivo, es indispensable la comprensión de los principales conceptos en que se fundamentan.

En producción animal los logros de un programa de cruzamientos dependerán (1) de la magnitud de la heterosis o vigor híbrido y (2) de la productividad de las razas que originen los mestizos. Ambas condiciones tienen gran importancia, realidad que en numerosas ocasiones se olvida, suponiéndose que el éxito dependerá exclusivamente de la magnitud de la heterosis. El análisis que se hace a continuación del vigor híbrido obedece a que es un concepto nuevo, pero en ningún caso a que sea la única causa importante.

Productividad de las razas puras.

Es de máxima importancia tener la posibilidad de elegir las razas más productivas para cada hábitat. Esta decisión en muchas ocasiones es difícil, dado que no existe la mejor raza para cualquier situación y, en consecuencia, los resultados de la literatura deben interpretarse cuidadosamente teniendo presente las condiciones ambientales, de manejo y de mercado bajo las cuales se ha estimado la productividad de las estirpes.

En aquellos rubros que se desarrollan en confinamiento, un número importante de factores se encontrarán controlados, sin embargo, el comportamiento de las razas o líneas puede ser diferente dependiendo del manejo que se implemente. En aves de postura, por ejemplo, se han detectado importantes diferencias en el orden de mérito de las líneas, dependiendo del sistema de alojamiento (jaulas individuales o piso).

En sistemas de producción extensivos, el nivel de productividad de las razas dependerá del grado de intensificación de los sistemas de producción. Por tal motivo no es posible establecer *a priori* la conveniencia de elegir razas de mayor tamaño corporal, potencial lácteo o una prolificidad superior, ya que estas variables podrán tener ventajas comparativas dependiendo, en gran medida, del nivel y calidad de la alimentación disponible y de la factibilidad económica de suplementar en los periodos críticos. Magofke (1994) entrega antecedentes

sobre tamaño corporal y producción de leche de un importante número de razas bovinas destinadas a la producción de carne.

El vigor híbrido es importante, pero poco o nada se logrará con hacer esfuerzos por obtenerlo, si las razas que originan los mestizos no son las más productivas para una situación en particular, o cuando una de las estirpes es muy superior a la otra u otras usadas en el sistema de cruzamiento.

Definición de la heterosis.

Heterosis o vigor híbrido es la diferencia o desvío del comportamiento de la progenie mestiza, originada por apareamientos recíprocos, con respecto del promedio de las razas o líneas puras que los originaron.

Por definición existirá vigor híbrido (1) cada vez que el comportamiento de los mestizos sea diferente al promedio de las razas que los originaron, y no necesariamente cuando éstos superen a la mejor estirpe y (2) para cuantificar la heterosis es necesario conocer en forma contemporánea el mérito de las razas puras y de los cruzamientos recíprocos. La carencia de esta información podría confundir el vigor híbrido con la habilidad materna de las razas involucradas.

Base genética de la heterosis.

Las especies tienen un número definido e invariable de cromosomas. Tanto éstos como los genes se disponen en pares, ya que uno de ellos es una copia aportada por la madre y la otra por el padre, dado que cada progenitor transmite la mitad de su código genético a la progenie. A estos pares de cromosomas que presentan los genes dispuestos en un orden similar, y que además tienen igual forma y tamaño se les denomina cromosomas homólogos. Estos pares contienen dos copias de cada gen, una en cada cromosoma y se encuentran situados en un punto específico llamado locus.

Los dos genes del par de cromosomas homólogos, no siempre son copias exactas el uno del otro, aun cuando codifican la misma información básica, ya que la secuencia del ADN puede variar. Estos cambios genéticos contribuyen a explicar las diferencias entre los seres vivos pertenecientes a una misma especie. A las distintas versiones de un gen que se ubican en un locus en particular se le denomina alelo. Este término significa, por consiguiente, la posibilidad de que existan tipos alternantes de genes en un punto específico (locus) de los cromosomas homólogos. Cuando existe una serie de genes o más de dos alelos distintos que pueden ocupar un locus en particular, se está en presencia de alelos múltiples. Cada alelo perteneciente a esta serie alelomórfica puede producir fenotipos distintos. Dado que un individuo posee pares de cromosomas homólogos, éste nunca podrá tener más de dos alelos, pero en la población en su conjunto podrán encontrarse tres o más versiones diferentes.

Puede existir una relación simple entre un gen determinado y un carácter específico; o un gen puede participar en el control de dos o más caracteres del

cuerpo; o muchos genes pueden influir regulando la exteriorización de un solo carácter. Las variables de valor comercial como producción de leche, carne, huevos, lana etc. y las medidas de productividad, entre otras, se encuentran influidas por muchos pares de genes diferentes.

Cuando un individuo recibe el mismo alelo (A_1) de ambos padres, su genotipo será A_1A_1 , condición a la cual se le denomina homocigoto. Por el contrario si recibe de un padre un alelo A_1 y del otro un A_2 , su genotipo será A_1A_2 y en tal caso será heterocigoto.

La exocría y la consanguinidad (endocría), son dos mecanismos opuestos a través de los cuales es posible modificar el comportamiento animal. En la exocría, al aparearse poblaciones de origen genético distinto (razas o líneas dentro de razas), se produce un aumento de la heterocigosis de la población, originándose como respuesta a este fenómeno, el vigor híbrido. La consanguinidad, por el contrario, al originarse por el apareamiento entre parientes, produce un aumento de la homocigosis la cual da origen a la depresión endogámica.

En las diferentes especies, en el proceso de formación de las razas, ocurrieron procesos de muestreo de alelos por efecto del azar y la frecuencia de éstos varió según el nicho ecológico que ocuparon los animales según las ventajas adaptativas que proporcionaban a la población por efecto de la selección natural. La posterior domesticación de las especies originó, además, en muchas ocasiones programas de endocría voluntarios. Estos sucesos fijaron características influidas por pocos pares de genes como color, diseño, presencia o ausencia de cuernos, etc. aumentando la homocigosis, pero no necesariamente para los mismos alelos. Como consecuencia de lo anteriormente planteado el cruzamiento entre razas produce un aumento de la heterocigosis.

Un heterocigoto puede tener un fenotipo exactamente igual al promedio de sus padres. Cuando ello ocurre la contribución de los alelos que forman el genotipo es aditiva. Es frecuente, sin embargo, que uno de los alelos predomine sobre el otro, y como consecuencia de ello, el heterocigoto muestre en su fenotipo un desvío en relación al promedio de los padres que lo originaron. Cuando ello ocurre se está en presencia de una interacción entre genes que son alelos. A este fenómeno se le conoce como dominancia. El grado en que se manifieste esta interacción puede tener diferente magnitud.

En las características de importancia económica, que se encuentran influidas por muchos pares de genes, no es posible distinguir el grado de dominancia ni los efectos de ésta para cada par de genes. El desvío que la progenie muestre en relación al desempeño promedio de los padres será, por consiguiente, consecuencia de la sumatoria de todos los efectos debido a la dominancia, sean estos favorables o desfavorables, para los n pares de genes que la influyen. A este efecto se le denomina dominancia direccional.

Para que el aumento de la heterocigosis sea favorable, necesariamente deben ocurrir dos fenómenos en forma simultánea: (1) deberá existir dominancia direccional y (2) los efectos de la dominancia que se produzcan en los n pares

de genes que influyen una característica deberán ser, en su conjunto, favorables. Lo indicado en esta sección permite entender: (1) que las distintas medidas productivas muestren niveles de heterosis diferentes; (2) que el vigor híbrido, en teoría, pueda ser tanto negativo como positivo, pero que en la práctica por lo general sea favorable; y (3) que la heterosis pueda ser de diferente magnitud dependiendo de las razas o líneas que participen.

Además de la interacción entre genes alelos (dominancia), pueden existir también interacciones entre genes no alélicos ubicados en el mismo o en cromosomas que no son homólogos. Este fenómeno recibe el nombre de epistasis. Los efectos de las interacciones epistáticas ocurren, por lo tanto, en rasgos influidos por más de un par de genes. Estas interacciones pueden ser en teoría favorables o negativas y producirán desvíos con relación a lo esperado considerando exclusivamente los efectos, por lo general benéficos, de la dominancia.

Si en la formación de las razas se han fijado combinaciones epistáticas que son favorables, pero diferentes en las distintas estirpes, al hacer cruzamientos entre éstas las combinaciones entre los genes no alélicos de las razas que originan a los mestizos se romperán, apareciendo nuevas formas gaméticas denominadas recombinantes. Estas recombinaciones, por lo general, disminuyen las consecuencias favorables de la dominancia. Sus efectos no se pueden predecir *ex ante* pudiendo ser, a veces, muy importantes por inducir fuertes disminuciones de la productividad, pero en otras ocasiones pueden ser incluso favorables. Por este motivo, en producción animal, las estimaciones que se simulan para evaluar las bondades de las diferentes opciones de cruzamientos, se ignoran los efectos de las recombinaciones, pero en la mayoría de los casos, se implementan acciones que disminuyen sus consecuencias. El efecto negativo de las recombinaciones génicas ha demostrado ser más importantes en producción de huevos y producción de leche en el trópico (Kinghorn y van der Werf, 2000).

Importancia de la heterosis en la práctica.

Los comentarios hechos en la definición de heterosis obliga a profundizar algo más sobre el tema. En producción de carne, por ejemplo, la magnitud del vigor híbrido en caracteres tales como peso al nacer, incremento de peso nacimiento-destete, fertilidad en machos y hembras y mortalidad tanto intrauterina como entre el nacimiento y el destete tienen, por lo general, magnitudes inferiores al 10% y no siempre los mestizos superan en cada rasgo en particular a la mejor raza pura. En medidas de productividad al destete, expresada como peso destetado por hembra expuesta a macho, la cual es función de las variables enumeradas anteriormente, los resultados pueden ser diferentes.

En el Cuadro 1 se ilustra un ejemplo teórico el cual se construyó, a propósito, de manera tal que en ningún carácter que influyera sobre la productividad, expresada como peso de ternero producido por hembra encastada, los mestizos superaran a la mejor raza.

En el ejemplo se observa que, si el criterio hubiese sido la tasa de terneros destetados, la mejor opción habría sido la raza pura B. Por el contrario si éste hubiese sido el peso al destete, la alternativa habría sido la estirpe A. La mayor productividad se logra sin embargo, con el F₁ a pesar de que ninguno de los caracteres que la origina, mostró superioridad con relación a la mejor raza. El ejemplo es teórico y la medida considerada podría haber sido deferente. En animales a pastoreo la productividad por unidad de superficie es preferible. Una valoración económica da origen a la cuantificación del vigor híbrido económico.

CUADRO 1. Ejemplo teórico que ilustra la contribución de la combinación de caracteres destacados en razas deferentes, sobre la exteriorización de la heterosis en una medida de productividad.

Variables	Razas Puras		Mestizos F ₁	Heterosis (%)
	A	B		
Tasa de destete / vaca expuesta	70	84	82	6,49
Peso al destete (kg)	200	170	195	5,41
Productividad (peso promedio de terneros destetados / vaca expuesta)	140	142,8	159,9	13,08

Origen de la heterosis.

La heterosis se origina a través de dos vías. El vigor híbrido individual (h^I) es consecuencia del aumento de la heterocigosis en la cría. La heterosis materna (h^M) también es consecuencia de un aumento en la heterocigosis, pero en este caso, el fenómeno ocurre en las madres, y su efecto se obtiene en la progenie. Ambas vías son complementarias y aditivas, por consiguiente, el vigor híbrido total posible de obtener, es la sumatoria de ambas. En producción de carne con mamíferos, la importancia relativa de las heterosis individual y materna es similar y en algunas medidas de productividad evaluadas al destete, como la propuesta anteriormente, el origen materno podría llegar a tener mayor importancia que la individual.

Relación entre la herocigosis y la heterosis.

La máxima heterocigosis en un individuo se logra cuando la composición genética de éste está compuesta en un 50% por el aporte génico de una raza, proviniendo el restante conglomerado génico de orígenes diferentes. En ausencia del efecto de las recombinaciones génicas se asume que existe una relación lineal entre la heterocigosis y vigor híbrido.

Por las razones dadas anteriormente una cría cuya composición genética esté formada en un 50% por una raza y el resto por otra u otras estirpes se asume que, en tal situación, se estaría logrando la máxima heterosis individual posible. Si este animal se origina a partir de una madre media sangre, su comportamiento se verá beneficiado, además, por el máximo vigor híbrido de origen materno.

Cualquier desviación a la composición genética enunciada anteriormente disminuirá la heterocigosis y la heterosis en una relación lineal. Si la heterosis individual o materna produce, por ejemplo, un desvío de +10 kg en los pesos al destete de animales media sangre (0,5A-0,5B), se espera un desvío de +5kg en mestizos cuya composición genética es 0,75 de una raza A y de 0,25 de otra u otras estirpes. De acuerdo a esta lógica el porcentaje de heterosis esperado tenderá a 0 en la medida que la composición genética de las madres o de las crías se acerque al 100% de una raza en particular.

El hecho que se considere que la máxima heterosis se logre con individuos media sangre, no significa que al aparear razas diferentes sea posible esperar magnitudes de vigor híbrido iguales. En todos los casos se obtiene un máximo aumento de la heterocigosis en los F₁, pero este incremento puede ser diferente dependiendo de las razas participantes.

Basado en los antecedentes entregados los sistemas de cruzamientos que se utilizan en la práctica buscan: (1) hacer provecho tanto de la heterosis individual como materna (2) mantener el nivel de heterocigosis elevado y (3) aprovechar las ventajas relativas de las razas puras, incorporándolas según interese, por sus habilidades materna o directa.

Magnitud de la heterosis.

La heterosis fluctúa comúnmente entre valores de 0 y 40%. Se consideran valores bajos entre 0 y 9%; medios entre 10 y 19%; altos entre 20 y 30%; y muy elevados aquellos que superan el 30%.

Magnitud de la heterosis en diferentes características.

El mayor éxito obtenido con cruzamientos en animales es en producción de carne. En próximos artículos se usará como eje central al bovino de carne lo cual permitirá analizar en detalle diferentes variables que contribuyen a mejorar la productividad en este rubro.

En producción de leche la heterosis total es baja (6 a 7%), la cual se origina casi exclusivamente a través de la heterosis individual. En sistemas de producción intensivos de países con clima templado, los cruzamientos entre razas prácticamente no se utilizan dado que la baja heterosis que manifiesta el carácter difícilmente logra compensar las diferencias que existen entre las producciones individuales de otras razas especializadas con relación al Holstein. En sistemas de producción extensivos, como los que comúnmente se desarrollan en Nueva Zelandia existen, sin embargo, evidencias experimentales que demuestran que los cruzamientos podrían tener ventajas, ya que en los sistemas de producción basados fundamentalmente en el consumo de la pradera, interesa el aumento de la productividad por unidad de superficie, mas que las producciones individuales *per se*. En tales circunstancias la producción de sólidos lácteos cuantificados en la forma mencionada anteriormente es muy similar en las razas Jersey, Ayrshire y Frisón neozelandés (López-Villalobos *et al.*, 2000a,b). Siendo tan parecidos, en

este caso, los desvíos provocados por la heterosis, aunque sean de baja magnitud (6 a 7%), necesariamente las mestizas superarán a la mejor raza dado que por definición la heterosis es el desvío con respecto del promedio de las razas puras.

En producción de lana la heterosis también es baja (2 a 4%). Si la principal finalidad es la producción de fibra el uso de cruzamientos en este rubro no es aconsejable, ya que desde un punto de vista comercial, crea problemas la producción de lotes de vellones con características lanimétricas diferentes.

En aves, tanto la producción de carne como de huevos, utiliza sofisticados sistemas de cruzamientos los cuales se están usando también en porcinos. Esta problemática será analizada en próximos artículos en forma particular.

Conceptos importantes de recordar.

- 1.- El éxito de un programa de cruzamientos dependerá de la productividad de las razas puras y de la magnitud de la heterosis.
- 2.- Heterocigosis y heterosis son conceptos diferentes. La relación entre ambas es lineal en ausencia de recombinaciones génicas.
- 3.- El mayor aporte de los cruzamientos ocurre en la producción de carne.
- 4.- La heterosis debe ser evaluada en función del incremento en la productividad, ya sea biológica o económica. Su valoración a base de sólo algún carácter que la influya puede inducir a error.
- 5.- La heterosis total es la sumatoria de la heterosis individual y materna. En producción de carne ambas contribuyen en gran medida al incremento de la productividad.
- 6.- Una elevada productividad en una población mestiza es consecuencia tanto de la heterosis como de la contribución de las razas que la originaron.

Literatura citada.

LOPEZ-VILLALOBOS, N., GARRICK, D.J., HOLHES, C.W., BLAIR, H. T. and SPELMAN, R. J. 2000a. Profitabilities of some mating systems for dairy herds in New Zealand. J. Dairy Sci. 83:144-153.

LOPEZ-VILLALOBOS, N., GARRICK, D.J., BLAIR, H.T. and HOLMES.C.W. 2000b. Possible effects of 25 years of selection and crossbreeding on the genetic merit and productivity of New Zealand dairy cattle. J. Dairy Sci. 83:154-163.

KINGHORN, B. and VAN DER WERF, J. 2000. Identifying and incorporating genetic markers and major genes in animal breeding programs. Curso desarrollado en Belo Horizonte 31 de mayo al 5 de junio. 157p.

MAGOFKE J.C. 1994. Evaluación del mejoramiento genético en el bovino de carne. Circular de Extensión N° 18: 43-57.