

USO DEL CRUZAMIENTO ENTRE RAZAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN ANIMALES. IV. DISEÑO Y COMPARACIONES REQUERIDAS PARA ESTIMAR EL MÉRITO DE LAS RAZAS PURAS USADAS EN CRUZAMIENTOS Y EL VIGOR HÍBRIDO DIRECTO Y MATERNO.

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

Introducción.

Magofke y García (2001a,b,c) entregan las definiciones de la heterosis directa y materna, además de la magnitud del vigor híbrido esperado para un número importante de variables que intervienen en el ciclo completo de producción del bovino de carne. Un cabal entendimiento de estos conceptos, sin embargo, sólo es posible alcanzarlo desarrollando las comparaciones requeridas a través de ejemplos numéricos.

El desarrollo de estos ejemplos no pretende capacitar al lector para analizar datos obtenidos en ensayos de mestizaje. El objetivo es entregar las bases para comprender mejor estos importantes conceptos, indispensables para construir sistemas de cruzamientos que aporten los máximos beneficios según la especie de que se trate.

Diseño para estimar parámetros útiles a la exocría.

El nombre genérico que reciben estos diseños es el de **cruzamientos dialélicos**. Dependiendo del número de las razas participantes éstos pueden ser de 2*2; 3*3 etc. Magofke y García (2001b) al informar de los proyectos de cruzamientos desarrollados en bovinos de carne en Estados Unidos, en realidad entregan los resultados obtenidos de cruzamientos dialélicos. El desarrollo de este tema, a través de ejemplos, se basará en los resultados experimentales informados por Wilson y Johnson (1981) el cual aparece en el Cuadro 1 y que corresponde a un cruzamiento dialélico de 3*3.

En este estudio se informa el comportamiento reproductivo de cerdos de las razas puras Duroc, Hampshire y Yorkshire y de todos los cruzamientos recíprocos factibles. La variable que se usará para desarrollar los ejemplos que estiman los efectos raciales y las heterosis, será el número de cerdos vivos a los 42 días.

Como se observa en el cuadro cada celda entrega una información específica. Las de la diagonal informan el comportamiento de cada una de las razas puras. En las restantes celdas se encuentra el desempeño de los cruzamientos recíprocos: HD-DH; DY-YD y los YH-HY. La nomenclatura aceptada considera que la identificación de la raza paterna está dada por la primera letra y la segunda, reconoce a la materna. El esquema en este caso corresponde a un cruzamiento dialélico de 3*3.

CUADRO 1. Resultados en un cruzamiento dialélico entre las razas Duroc, Hampshire y Yorkshire para número de cerdos generados por hembra a los 42 días. Fuente: Wilson y Johnson (1981).

Razas Paternas	Razas Maternas		
	DD	HH	YY
Duroc (DD)	DD 5,48	DH 6,55	DY 7,62
Hampshire (HH)	HD 6,25	HH 5,18	HY 6,90
Yorkshire (YY)	YD 6,88	YH 6,45	YY 7,26

Estimación de los efectos maternos (g^M).

Para estimar los efectos maternos de cada raza con respecto a otra en particular, se procedió a restar a cada cruzamiento donde ésta actuaba como madre su recíproco. En el Cuadro 2 se indican los cálculos requeridos. Por ejemplo, para estimar el efecto materno de la raza Duroc (DD) con relación a la Hampshire (HH), se procede a restar el comportamiento observado de las hembras Duroc al ser apareadas con machos Hampshire (HD) con el cruzamiento recíproco DH, en el cual intervienen las mismas razas, pero en este caso DD lo hace por la vía paterna. Como en ambos casos actúan las mismas razas, la composición genética de los cerdos es la misma al igual que la heterosis. La diferencia observada es atribuible, por consiguiente, al efecto materno.

El efecto promedio materno, al igual que los específicos, también se calcula como un desvío, pero en este caso se resta al desempeño promedio de los mestizos cuyas madres son de una raza dada el comportamiento promedio de aquellos donde esta misma estirpe lo hace como padre. Las cifras requeridas para este cálculo también se indican en el Cuadro 2. En el ejemplo planteado intervienen tres razas, por consiguiente, para calcular el efecto materno promedio de la raza Duroc en relación a las otras dos razas involucradas (HH y YY), se obtiene el valor promedio de los apareamientos de las madres Duroc con los verracos Hampshire y Yorkshire. A este valor debe restarse el comportamiento promedio de los cruzamientos recíprocos $(DH+DY)/2$, es decir, donde esta misma raza lo hizo por la vía paterna. Es importante

resaltar que, ni para los efectos maternos específicos ni para los efectos promedio, se considera el desempeño de las razas puras. Tanto la sumatoria de los efectos específicos como el de los promedios es igual a cero. Conocido, por ejemplo, el efecto materno de la raza Duroc con relación al Hampshire, no es necesario hacer el cálculo inverso, ya que éste siempre será de igual magnitud, pero de signo contrario. De igual forma conocidos los efectos maternos promedio del Duroc y del Hampshire, el del Yorkshire, necesariamente será igual a la diferencia de esta sumatoria con relación a cero.

El desarrollo de estos ejemplos demuestra, además, que el efecto materno es un concepto diferente al de heterosis materna, y los desvíos que se produzcan por esta vía, son complementarios a los logros posible de obtener tanto a través de la heterosis individual como materna.

En el Cuadro 3 se resumen los cálculos requeridos para estimar los efectos directos promedio y específicos.

Como se observa en el cuadro el efecto directo específico de una raza en particular con relación a otra se obtiene calculando la diferencia entre éstas. A este valor es necesario restarle el efecto materno calculado anteriormente (Cuadro 2). Los efectos promedio se obtienen de una manera similar, pero en este caso en vez de calcular la diferencia entre dos razas puras, se obtiene la diferencia entre la estirpe pura a la cual se desea obtener su efecto promedio con respecto a la media de los otros biotipos puros participantes. En esta oportunidad el efecto materno que debe sustraerse corresponderá al valor promedio de la raza evaluada (Cuadro 2).

CUADRO 2. Cálculo de los efectos maternos para número de cerdos generados por hembra a los 42 días en las razas Duroc, Hampshire y Yorkshire, a partir de la información entregada por Wilson y Johnson (1981).

Razas	Cruzamientos recíprocos		Efecto Materno
Efecto materno de la raza DD en relación a HH	HD ¹ 6,25	DH 6,55	-0,30
Efecto materno de la raza DD en relación a YY	YD 6,88	DY 7,62	-0,74
Efecto materno de la raza HH en relación a DD	DH 6,55	HD 6,25	0,30
Efecto materno de la raza HH en relación a YY	YH 6,45	HY 6,90	-0,45
Efecto materno de la raza YY en relación a DD	DY 7,62	YD 6,88	0,74
Efecto materno de la raza YY en relación a HH	HY 6,90	YH 6,45	0,45
Efecto materno promedio de la raza DD	$(HD+YD)/2$ $(6,25+6,88)/2=6,58$	$(DH+DY)/2$ $(6,55+7,62)/2=7,09$	-0,51
Efecto materno promedio de la raza HH	$(DH+YH)/2$ $(6,55+6,45)/2=6,50$	$(HD+HY)/2$ $(6,25+6,90)/2=6,58$	-0,08
Efecto materno promedio de la raza YY	$(DY+HY)/2$ $(7,62+6,90)/2=7,26$	$(YD+YH)/2$ $(6,88+6,45)/2=6,67$	+0,59

1. La primera letra indica la raza paterna.

Estimación de los efectos directos (g^l).

El efecto directo evalúa, por consiguiente, el valor de los genes que una raza determinada posee. El desvío que éstos produzcan son diferentes y complementarios a los efectos de la heterosis individual. En un programa de cruzamientos es importante conocer estos parámetros, ya que entregan la orientación debida para decidir el uso mas adecuado de las razas, ya sea por la vía materna o paterna. El ejemplo desarrollado usa una variable donde una de las estirpes acumula todas las ventajas. En la práctica en medidas de productividad, por lo general, algunas estirpes destacan por sus efectos directos y otras por su desempeño materno.

CUADRO 3. Cálculo de los efectos directos para número de cerdos generados por hembra a los 42 días en las razas Duroc, Hampshire y Yorkshire, a partir de la información entregada por Wilson y Johnson (1981).

Efectos Directos	Razas Puras		Diferencia	g^M	Efecto Directo (g^l)
Efecto directo de DD en relación a HH	DD 5,4 8	HH 5,18	(DD – HH) 0,30	g^M_{D-H} -0,30	g^l_{D-H} $0,30 - (-0,30) = 0,60$
Efecto directo de DD en relación a YY	DD 5,4 8	YY 7,26	(DD – YY) -1,78	g^M_{D-Y} -0,74	g^l_{D-Y} $-1,78 - (-0,74) = -1,04$
Efecto directo de HH en relación a DD	HH 5,1 8	DD 5,48	(HH – DD) -0,30	g^M_{H-D} 0,30	g^l_{H-D} $-0,30 - 0,30 = -0,60$
Efecto directo de HH en relación a YY	HH 5,1 8	YY 7,26	(HH – YY) -2,08	g^M_{H-Y} -0,45	g^l_{H-Y} $-2,08 - (-0,45) = -1,63$
Efecto directo de YY en relación a DD	YY 7,2 6	DD 5,48	(YY – DD) 1,78	g^M_{Y-D} 0,74	g^l_{Y-D} $1,78 - 0,74 = 1,04$

Efecto directo de YY en relación a HH	YY 7,2 6	HH 5,18	(YY – HH) 2,08	g^M_{Y-H} 0,45	g^I_{Y-H} 2,08 – 0,45 = 1,63
Efecto directo promedio de la raza DD	DD 5,4 8	(HH+YY)/2 (5,18+7,26)/2= 6,22	[DD-(HH+YY)/2] 5,48 - 6,22 = - 0,74	g^M_D -0,51	g^I_D -0,74-(-0,51) = - 0,23
Efecto directo promedio de la raza HH	HH 5,1 8	(DD+YY)/2 (5,48+7,26)/2 = 6,37	[HH-(DD+YY)/2] 5,18 - 6,37 = - 1,19	g^M_H -0,08	g^I_H -1,19-(-0,08) = - 1,11
Efecto directo promedio de la raza YY	YY 7,2 6	(DD+HH)/2 (5,48+5,18)/2 = 5,33	[YY-(DD+HH)/2] 7,26 - 5,33 = + 1,93	g^M_Y +0,5 9	g^I_Y 1,93- 0,59 = + 1,34

g^M = Efecto materno.

Estimación de la heterosis individual.

En el Cuadro 4 se resumen los cálculos requeridos para estimar las heterosis individuales específicas y promedio.

Para estimar la heterosis promedio individual a partir de la información entregada en el Cuadro 1, basta con promediar el desempeño de las cruzas y de las razas puras. La diferencia indica el valor del vigor híbrido promedio expresado en la unidad de medida en que se cuantificó el carácter. Para darle una notación porcentual se realiza la siguiente operación: $(6,78 / 5,97) * 100 = 13,6\%$.

CUADRO 4. Cálculo de la heterosis individual (h^1) promedio y específicas a partir de los resultados informados por Wilson y Johnson (1981).

Razas puras Participantes	Promedio de las razas puras	Promedio de los cruzamientos recíprocos	Heterosis	
			Unidades	%
Heterosis Promedio				
DD - HH - YY	5,97	6,78	0,80	13,6
Heterosis Específicas				
DD - HH	5,33	6,40	1,07	20,1
DD - YY	6,37	7,25	0,88	13,8
HH - YY	6,22	6,68	0,46	7,4

Para estimar la heterosis específica entre dos razas, se procede a calcular el promedio de los cruzamientos recíprocos de las estirpes involucradas obteniéndose la diferencia con respecto al promedio de ambas razas. Este ejemplo demuestra que la heterosis es el desvío con relación al promedio de las razas puras, el cual al ser positivo, no necesariamente asegura que el mestizo será superior a la mejor raza. Considerando exclusivamente el efecto de la heterosis individual, en el ejemplo desarrollado, sólo el cruzamiento DD*YY se acerca al desempeño de la mejor raza (Yorkshire), a pesar de que en este cruzamiento no se obtuvo el valor heterótico más elevado. Este simple análisis demuestra la importancia del mérito de las razas puras para poder lograr un beneficio real.

Estimación de la heterosis materna.

Con la información que se detalla en el Cuadro 1, no es posible estimar la heterosis materna. Para lograrlo es necesario obtener descendencia de las hembras mestizas generadas con los cruzamientos indicados en el Cuadro 2. La progenie útil, en este caso, es originada por las retrocruzas. El comportamiento de éstas, informado por Wilson y Johnson (1981), se resume en el Cuadro 5.

Los cruzamientos triples que son factibles, de los cuales no se entrega información en el Cuadro 5, producen estimaciones erróneas de la heterosis materna, dado que el vigor híbrido entre dos razas determinadas pueden alcanzar una magnitud muy diferente como pudo apreciarse en la estimación de la heterosis

individual. En el comportamiento de estas progenies no sería posible, por lo tanto, separar el efecto de la heterosis materna atribuible a cada combinación racial. El desempeño de las progenies triples es muy útil para hacer otro tipo de estimaciones las cuales serán analizadas en el momento oportuno.

CUADRO 5. Comportamiento de las retrocruzas obtenidas por el apareamiento de las razas Duroc, Hampshire y Yorkshire, para número de cerdos generados por hembra a los 42 días. Fuente: Wilson y Johnson (1981).

Raza Paterna	Hembras mestizas nacidas en la generación anterior		
	DH · HD	DY · YD	HY · YH
Duroc (DD)	D (DH · HD) 7,41	D (DY · YD) 7,67	Triple
Hampshire (HH)	H (DH · HD) 7,11	Triple	H (HY · YH) 7,20
Yorkshire (YY)	Triple	Y (DY · YD) 8,18	Y (HY · YH) 8,01

En el Cuadro 5 aparecen las tres razas puras paternas en la primera columna y las estirpes maternas en la hilera superior. Es posible observar, en este caso, que las madres son las mestizas media sangre producidas en la generación anterior las que se encuentran representadas por los cruzamientos recíprocos. También es claro que la composición genética de la progenie retrocruzada pertenece exclusivamente a dos razas. Los cálculos requeridos para estimar la heterosis materna se resumen en el Cuadro 6.

Para calcular la heterosis materna promedio es necesario obtener en primer término el promedio de las razas puras. En el ejemplo este valor es igual a 5,97. A continuación debe calcularse la media de todas las celdas indicadas en el Cuadro 1 que correspondan a retrocruzas. Dado que estos cruzamientos exteriorizan la totalidad de la heterosis materna por ser las madres media sangre y, además, un 50% del vigor híbrido individual por ser la progenie perteneciente en un 75% a una de las estirpes involucradas, es necesario sumarle al promedio de las razas puras la mitad de este valor, el cual aparece simbolizado en el Cuadro 6 por la letra B. La heterosis individual promedio ya fue estimada y su magnitud se indica en el Cuadro 4 (0,80). La mitad de este valor (0,40) se usa a continuación como sustrayendo del promedio de las retrocruzas. La cifra resultante estima la heterosis materna expresada en la unidad de medida en que el carácter fue cuantificado, y como todos los parámetros dialélicos, se expresa como un desvío. En este caso, por definición, será un efecto en relación al

promedio de las razas puras. Para transformarlo en un valor porcentual basta realizar la operación indicada en el Cuadro 6.

La operatoria seguida para obtener las heterosis maternas específicas es similar desde un punto de vista conceptual con respecto al desarrollado para estimar la heterosis promedio. Por tal motivo sólo se explicarán los cálculos para obtener la heterosis materna entre las razas Duroc y Hampshire. En este caso el promedio de las razas puras sólo considerará a las estirpes involucradas y el de los cruzamientos sólo las celdas indicadas en el Cuadro 5 donde ambas estirpes intervengan. Para obtener B, al promedio de las razas Duroc y Hampshire deberá sumársele la mitad de la heterosis individual específica indicada en el Cuadro 4.

CUADRO 6. Cálculo de la heterosis materna (h^M) promedio y específicas a partir de los resultados informados por Wilson y Johnson (1981).

Heterosis Materna Promedio	
Promedio de las razas puras (Px)	$(5,48+5,18+7,26) /3 = 5,97$
Promedio de las retrocruzas (A)	$(7,41+7,67+7,11+7,20+8,18+8,01)/6 = 7,60$
$Px + h^I/2$ (B)	$(5,97+0,40) = 6,37$
Heterosis materna: A – B (unidades)	$(7,60-6,37) = 1,23$
A – B (%)	$[(7,60-6,37)/5,97]*100 = 20,6$
Heterosis Específicas:	
- Duroc - Hampshire	
Promedio de las razas puras (Px)	$(5,48+5,18)/2 = 5,33$
Promedio de las retrocruzas (A)	$(7,41+7,11)/2 = 7,26$
$Px + h^I/2$ (B)	$(5,33+0,54) = 5,87$
Heterosis materna: A – B (unidades)	$(7,26-5,87) = 1,39$
A – B (%)	$[(7,26-5,87)/5,33]*100 = 26,1$

- Duroc – Yorkshire	
Promedio de las razas puras (Px)	$(5,48+7,26)/2 = 6,37$
Promedio de las retrocruzas (A)	$(7,67+8,18)/2 = 7,93$
$Px + h^{1/2}$ (B)	$(6,37+0,44) = 6,81$
Heterosis materna: A – B (unidades)	$(7,93-6,81) = 1,12$
A – B (%)	$[(7,93-6,81)/6,37]*100 = 17,6$
- Hampshire – Yorkshire	
Promedio de las razas puras (Px)	$(5,18+7,26)/2 = 6,22$
Promedio de las retrocruzas (A)	$(7,20+8,01)/2 = 7,61$
$Px + h^{1/2}$ (B)	$(6,22+0,23) = 6,45$
Heterosis materna: A – B (unidades)	$(7,61-6,45) = 1,16$
A – B (%)	$[(7,61-6,45)/6,22]*100 = 18,6$

En el ejemplo propuesto la heterosis materna fue mas importante que la individual y, además, presentó una menor variación.

Comentario final.

Una lectura pausada de este escrito muestra que las comparaciones requeridas para estimar los efectos de los cruzamientos y del vigor híbrido individual y materno son, además de lógicas, sencillas de realizar. La planificación y análisis de los datos recogidos en un ensayo de cruzamientos requiere, sin embargo, de la asesoría de un especialista. Los motivos se señalan a continuación:

1.- El número de machos usado debe ser suficiente con el fin de asegurar, que tanto en la comparación de las razas puras como de los mestizos, se evalúen las razas y no a un reproductor específico o un número reducido de ellos, ya que por efecto del azar el mérito de los reproductores machos podría ser, destacado o mediocre, alterando indebidamente los resultados.

2.- Los cálculos hechos se limitaron a las cuatro operaciones. Esto fue factible porque los autores del ejemplo desarrollado informaron el desempeño de los distintos orígenes genéticos a través de promedios **mínimos cuadrados**. El cálculo de éstos requiere de modelos matemáticos que permitan estimar la importancia de los efectos originados por diferentes fuentes de variación no genéticas conocidas, tales como edad de las madres y de la progenie entre otras, permitiendo con la información estandarizada, obtener promedios comparables. Para el desarrollo de estos modelos se requiere, por consiguiente, una información detallada y veraz del origen de cada registro.

3.- Deben evaluarse todas las fuentes de variación de origen no genético que se consideren importantes según la especie y el carácter considerado. En estos casos se pueden producir **interacciones** importantes. Tales fenómenos ocurren cuando los distintos orígenes genéticos responden de diferente forma frente a causales ambientales o fisiológicas conocidas. La evaluación de la importancia de las interacciones, mediante análisis estadísticos, sólo será posible estimarlas adecuadamente mediante análisis de mínimos cuadrados, ya que lo normal en producción animal será contar con un número desigual de datos en las celdas o subclases.

4.- El diseño usado en los proyectos de cruzamientos permite, finalmente, estimar otros parámetros dialélicos que requieren del desarrollo de sofisticados modelos matemáticos. tales como la habilidad combinatoria general y específica además de los efectos ligados al sexo.

En Chile existe información de varios ensayos de cruzamientos entre razas, pero sólo excepcionalmente el diseño implementado ha permitido obtener estimaciones de vigor híbrido. El motivo de tal falencia obedece al costo y duración de estos proyectos, los cuales son difíciles de implementar fuera de una Estación Experimental. También ha contribuido el desconocimiento de las personas que toman las decisiones sobre los temas prioritarios de investigación. Los cruzamientos dialélicos aportan información de gran importancia para la planificación de los mejores sistemas de cría, y por lo tanto, tienen una importancia práctica muy grande. El desarrollo experimental requiere, sin embargo, implementar cruces que, *a priori*, se sabe que tendrán escasa expectativa, pero que son necesarias para la cuantificación de los parámetros dialélicos.

Literatura citada.

MAGOFKE J. C. y GARCÍA, X. 2001a. Uso del cruzamiento entre razas para mejorar la productividad en animales I. Conceptos. Circular de Extensión. (En prensa).

MAGOFKE J. C. y GARCÍA, X. 2001b. Uso del cruzamiento entre razas para mejorar la productividad en animales II. Heterosis en medidas que influyen sobre la

productividad al destete en el bovino de carne. Circular de Extensión. (En prensa).

MAGOFKE J. C. y GARCÍA, X. 2001c. Uso del cruzamiento entre razas para mejorar la productividad en animales. III. Heterosis en variables de importancia en la etapa destete beneficio y en medidas de mérito de la canal y de la carne del bovino. Circular de Extensión. (En prensa).

WILSON, E. R. and JOHNSON, R. K. 1981. Comparisons of mating systems with Duroc, Hampshire and Yorkshire breeds of swine for efficiency of swine production. J. Anim. Sci. 51:26-35.