

## USO DEL CRUZAMIENTO ENTRE RAZAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN ANIMALES. V. CRUZAMIENTOS ROTACIONALES CONVENCIONALES.

*Juan Carlos Magofke S. y Ximena García F.*

### **Introducción.**

En artículos anteriores se indicó que la exocría es un sistema de mejoramiento que presenta importantes fortalezas para incrementar la producción de carne en distintas especies. Se explicaron los principales conceptos y se desarrolló, usando al bovino de carne como ejemplo, la magnitudes más probables de la heterosis esperada, según la característica considerada. Las comparaciones hechas con otras especies y rubros permitió ilustrar, además, la importancia del manejo y del momento de sacrificio de los animales.

En éste y en próximos artículos se desarrollarán diferentes opciones para aprovechar, en la práctica, la heterosis obtenida con los cruzamientos entre razas. Se propondrán diferentes sistemas, los cuales mostrarán distintas fortalezas y limitaciones según el rubro de producción y la especie considerada. El objetivo de este artículo es analizar los cruzamientos rotacionales propiamente tales para lo cual se usará, nuevamente como eje central, al bovino de carne.

### **Cruzamientos rotacionales.**

Los cruzamientos rotacionales, dependiendo del número de razas que participen, pueden ser dobles (dos razas) o triples (tres razas). Cualquiera sea el número de estirpes involucradas, siempre se usan razas puras en forma alternada a través de la vía paterna. Las hembras reproductoras son, por el contrario, mestizas originadas a partir de los nacimientos ocurridos en la generación inmediatamente anterior, lo cual permite retener un porcentaje importante de la heterosis individual y materna.

### **Cruzamiento rotacional doble (*criscrossing*).**

En el Cuadro 1 se indica un esquema que permite explicar la dinámica de este cruzamiento evaluado a través de las ocho primeras generaciones. En la segunda columna del cuadro se indica la alternancia de las razas puras A y B que intervienen a través de la vía paterna. Como puede observarse, éstas actúan en forma alternada y cíclica a través de las generaciones. En los cruzamientos rotacionales, cualquiera sean sus características, se denomina **ciclo** al conjunto de generaciones en las cuales participan un número dado de razas por la vía paterna en un orden específico, las cuales se repiten indefinidamente en idéntica secuencia. En este caso específico los ciclos son A-B, ya que se desarrollan en dos generaciones, puesto que intervienen sólo dos razas puras por la vía paterna en forma alternada.

**Cuadro 1. Composición genética y heterocigosidad retenida en las madres y en la progenie de un sistema rotacional doble.**

Generación	Raza Paterna	Importancia relativa de las razas A y B en la composición genética de las				Heterocigosidad retenida en las	
		MADRES		CRIAS		Madres	Crías
		A	B	A	B		
1	A	0,000	1,000	0,500	0,500	0,00	1,00
2	B	0,500	0,500	0,250	0,750	1,00	0,50
3	A	0,250	0,750	0,625	0,375	0,50	0,75
4	B	0,625	0,375	0,312	0,688	0,75	0,63
5	A	0,312	0,688	0,656	0,343	0,63	0,69
6	B	0,656	0,343	0,328	0,672	0,69	0,66
7	A	0,328	0,672	0,664	0,336	0,66	0,67
8	B	0,664	0,336	0,332	0,668	0,67	0,66

En las columnas del Cuadro 1, referidas a la composición genética tanto de los vientres como de la progenie mestiza, se procederá a analizar separadamente algunas generaciones, con el fin de explicar la forma en que se obtuvieron las cifras. En la primera generación, las vacas pertenecen a un biotipo puro, diferente al que interviene por la vía paterna. Por este motivo, en esta generación, se le asigna a las madres una composición genética de 1,0 para la raza B por pertenecer las hembras fundadoras a esta raza. Las crías, en cambio, son media sangre (0,50A-0,50B), ya que se originaron del apareamiento de machos de una raza pura A con hembras también puras, pero de una estirpe diferente, B.

Los vientres que participan en la generación 2 provienen de las hembras nacidas en la primera generación, las cuales son 0,50 A- 0,50 B. Como en esta generación participa la raza pura B por la vía paterna, la progenie será en esta ocasión, 0,25 A-0,75 B. Esto ocurre porque, al provenir los genes en un 50% de cada uno de los padres, los machos transmitirán a la progenie un 50% de genes de la raza B y las hembras, por ser media sangre, aportarán un 25% tanto de la raza A como de la B.

Con posterioridad, al igual que en la generación 2, siempre los vientres que originan la generación siguiente provienen de las hembras nacidas en la generación inmediatamente anterior (Cuadro 1). La operatoria para conocer la composición genética de las madres y de la progenie en la generación 7, por ejemplo, sigue el mismo raciocinio ya explicado. Los vientres tendrán la misma composición genética de la progenie nacida en la generación 6 (0,328 A - 0,672 B). Las crías, en cambio, serán 0,664 A - 0,336 B. Esto ocurre porque son hijos de machos de la raza pura A que transmitirá un 50% de sus genes a la progenie, y las madres, por ser 0,328 A - 0,672 B, aportarán el otro 50%, compuesto por un 16,4% de genes de la estirpe A y el otro 33,6% perteneciente a la B.

Previo al análisis de las columnas del Cuadro 1 que se refieren a la heterocigosidad retenida, se profundiza el análisis hecho por Magofke y García (2002 a) en relación a este concepto. La heterocigosidad retenida expresa el incremento de locus cuyos alelos se encuentran en el estado heterocigoto, en comparación con aquella que normalmente tienen las razas puras que los originaron. Este concepto es diferente al de la heterosis, a pesar de ser la causa que la origina. Para entender lo anteriormente indicado es necesario recordar que las razas puras muestran un comportamiento diferente, porque el conglomerado génico que posee cada una de ellas no es igual. Por otra parte, todas las razas presentan un cierto grado de consanguinidad, lo cual hace que, además de tener frecuencias génicas diferentes, el porcentaje de genes al estado homocigoto se ve incrementado. Si esta homocigosis se produjo para alelos distintos al de otra raza pura, al aparearse con ésta, en la primera generación se obtiene necesariamente un máximo aumento de la heterocigosidad. Esto ocurre porque en la gestación de los individuos  $F_1$ , el 100 % del conglomerado génico aportado por el padre se encuentra con un conjunto génico de origen genético diferente por pertenecer la madre a una raza diferente. A este incremento por ser un aumento extremo se le asigna un valor 1. El acrecentamiento de la heterocigosidad, obviamente puede ser distinto dependiendo de las razas apareadas, pero por ser de todas maneras extremo en el  $F_1$ , siempre se le asigna la unidad por ser el máximo incremento posible de lograr.

El aumento de la heterocigosidad que ocurre en los mestizos explica la presencia de la heterosis, y como ésta alcanza un valor máximo en el  $F_1$ , también el vigor híbrido en esta generación logra un valor extremo. Esto ocurre porque el 100 % de los genes aportados por el padre interactúan con los genes de los cromosomas homólogos transmitidos por una madre de origen genético distinto. La magnitud de la heterosis, sin embargo, es muy diferente dependiendo de la característica considerada (Magofke y García, 2002 b). También es lógico esperar que el vigor híbrido pueda ser diferente para un mismo carácter dependiendo de las razas involucradas, ya que como se explicó antes, el aumento de la heterocigosidad depende también de las razas participantes.

En el esquema propuesto en el Cuadro 1, en la primera generación, no se produce un aumento en la heterocigosidad de las madres, puesto que éstas pertenecen a una raza pura. El valor 0 anotado para los vientres, en esta generación, sólo expresa ausencia de aumento de la heterocigosidad, pero de ninguna manera pretende indicar que éstas sean enteramente homocigotos para todos los alelos que influyen a las características con posibilidad de ser consideradas. La progenie, en cambio, tendrá el mayor incremento esperado, por ser media sangre (0,50 A - 0,50 B).

En la generación 2 la situación es diferente. Ahora las madres son 0,50 A- 0,50 B, por consiguiente serán ellas las que, en esta ocasión, tengan el máximo incremento de la heterocigosidad. En la progenie, en cambio, ésta se verá reducida porque ahora las crías son 0,75 A - 0,25 B. El motivo por el cual es posible aceptar esta hipótesis obedece a que, al ser la composición genética 0,75-0,25 en vez de 0,50-0,50, la probabilidad de que se encuentren alelos B con sus homólogos aportados por la raza A es inferior. En este caso el 50 % de los genes aportados por la raza pura paterna B interactúan con los genes transmitidos por la madre los que en esta ocasión sólo la mitad de ellos pertenecen a una raza distinta a la del padre (A) perteneciendo el restante 50 % a la misma raza paterna (B). El aumento de la heterocigosidad esperada es, por tanto, sólo de un 50 % en relación con la obtenida en los  $F_1$ .

Asumiendo una relación lineal entre la heterocigosidad y la heterosis, en ausencia del efecto de las recombinaciones génicas, el vigor híbrido también debería reducirse a la mitad

Para estimar el incremento de la heterocigosidad en las generaciones siguientes se sigue similar razonamiento. En la generación 4, por ejemplo, el aumento de la heterocigosidad retenida en las madres es de un 75%, ya que la composición genética de éstas es de 0,625 A - 0,375 B. Para entender la operatoria que permite obtener este valor, observe que la importancia relativa de la raza que aporta la mayor contribución génica alcanza un valor de 0,625, el cual se encuentra justo en el punto medio entre 0,50, donde se obtiene el 100% del aumento de la heterocigosidad, y 0,75 donde sólo se logra el 50% de éste. La esperanza en el aumento de locus, cuyos alelos se encuentren al estado heterocigoto será, por tanto, igual al promedio (0,75) de los valores extremos 1,0 y 0,50. En esta misma generación la progenie tendrá ahora una composición genética 0,312 A - 0,688 B. En este caso el valor 0,688 corresponde al punto medio entre 0,750 y 0,625. El aumento de la heterocigosis debería ser, en consecuencia, el promedio obtenido entre 0,50 y 0,75 (0,625), que es el incremento logrado cuando las composiciones genéticas pertenecen en un 0,75 y 0,625 respectivamente a una estirpe dada. En el Anexo 1 se entregan los valores esperados de incremento de la heterocigosidad para distintas opciones de composición genética, las que necesariamente irán apareciendo en la sucesivas generaciones.

A continuación se usan los valores de heterocigosidad retenida indicados en el en el Cuadro 1, con valores reales de heterosis con el fin de desarrollar un ejemplo. Magofke y García (2002 b) indican que en el proyecto de cruzamientos entre las razas Angus, Hereford y Shorthorn desarrollado en Nebraska, las heterosis individual y materna fueron de 8,5 y 14,8% respectivamente para peso de ternero destetado por vaca expuesta a toro. Estos valores indican que la heterosis total es de 23,3%. A continuación se calcula el vigor híbrido esperado en las primeras ocho generaciones y al equilibrio (generación n) al desarrollar un *criscrossig* en los términos propuestos en el Cuadro 1.

$$\text{Generación 1: } (8,5 * 1,00) + (14,8 * 0,00) = 8,5\%$$

$$\text{Generación 2: } (8,5 * 0,50) + (14,8 * 1,00) = 19,1\%$$

$$\text{Generación 3: } (8,5 * 0,75) + (14,8 * 0,50) = 13,8\%$$

$$\text{Generación 4: } (8,5 * 0,63) + (14,8 * 0,75) = 16,5\%$$

$$\text{Generación 5: } (8,5 * 0,69) + (14,8 * 0,63) = 15,2\%$$

$$\text{Generación 6: } (8,5 * 0,66) + (14,8 * 0,69) = 15,8\%$$

$$\text{Generación 7: } (8,5 * 0,67) + (14,8 * 0,66) = 15,5\%$$

$$\text{Generación n: } (8,5 * 2/3) + (14,8 * 2/3) = 15,5\%$$

Como se observa en el Cuadro 1 y en el ejemplo recién desarrollado, en la medida que avanzan las generaciones, la fluctuación de la heterocigosidad retenida en las madres y en las progenes, tiende a igualarse y a estabilizarse en torno a 0,67 (2/3) a partir de la generación 7.

#### **Cruzamiento rotacional triple.**

Como se observa en el Cuadro 2, en los cruzamientos rotacionales triples participan tres razas distintas por la vía paterna.

**Cuadro 2. Composición genética y heterocigosidad retenida en las madres y la progenie en un sistema de cruzamientos rotacional triple.**

Generación	Raza Paterna	Importancia relativa de las razas A, B y C en la composición genética de las						Heterocigosidad retenida en las	
		Madres			Crías			Madres	Crías
		A	B	C	A	B	C		
1	A	0,000	0,000	1,000	0,500	0,000	0,500	0,00	1,00
2	B	0,500	0,000	0,500	0,250	0,500	0,250	1,00	1,00
3	C	0,250	0,500	0,250	0,125	0,250	0,625	1,00	0,75
4	A	0,125	0,250	0,625	0,563	0,125	0,313	0,75	0,88
5	B	0,563	0,125	0,312	0,281	0,563	0,156	0,88	0,88
6	C	0,281	0,563	0,156	0,141	0,281	0,578	0,88	0,84
7	A	0,141	0,281	0,578	0,570	0,141	0,289	0,84	0,86
8	B	0,570	0,141	0,289	0,285	0,570	0,144	0,86	0,86

Los ciclos son ahora de tres generaciones (A-B-C). A semejanza del *criscrossing* la participación de los biotipos tiene la misma importancia relativa, puesto que cada raza participa sólo en una generación de cada ciclo.

El cálculo de la composición genética de las madres y de la progenie es en todo sentido similar a la operatoria explicada en los cruzamientos dobles. El sistema usado para estimar el aumento de la heterocigosidad tiene, sin embargo, cierta connotación particular, por consiguiente, se hará un desarrollo explicativo de algunas de las cifras anotadas en el Cuadro 2.

En la generación 1, igual que en el *criscrossing*, se obtiene un 100% de la heterosis individual porque la progenie es media sangre y no se expresa la heterosis materna dado que las hembras pertenecen a una raza pura. En la generación 2, en cambio, se logra un aumento máximo de la heterocigosidad tanto en las madres como en la progenie. Ello es posible porque, al igual que en el *criscrossing*, las hembras reproductoras provienen de las media sangre nacidas en la generación anterior. La progenie, en esta ocasión será, 0,25 A-0,50 B-0,25 C, ya que sus abuelos y abuelas pertenecen a las razas A y C respectivamente, y su padre a la B. Al participar mas de dos razas en la composición genética de los individuos, se asume que la probabilidad de incremento en la heterocigosis es máxima cuando una de las estirpes tiene una importancia relativa del 50%, no importando el aporte relativo de los otros biotipos.

En las generaciones siguientes, el aumento de la heterosigosidad, se calcula tomando en cuenta sólo a la estirpe de mayor importancia relativa en la composición genética de las madres y de la progenie. En las generaciones 3, 4, 5, 6, 7 y 8 ello ocurre, en las madres, con las razas B, C, A, B, C, A respectivamente, ya que en estos momentos portan mas del 50% de los genes de estas estirpes. Para estas mismas generaciones, en la progenie, los biotipos con mayor importancia relativa serán C, A, B, C, A y B en el mismo orden (Cuadro 2). Si se observan los cuadros 1 y 2, tanto en los cruzamientos dobles como en los triples, la

contribución de 0,625 de una raza, permite obtener la misma retención de la heterocigosidad (0,75), sin importar la contribución relativa de las otras estirpes. Usando el mismo ejemplo propuesto en el *criscrossing*, la heterosis retenida en las primeras ocho generaciones y al lograrse el equilibrio (generación n), será:

Generación: 1 ( 8,5 \* 1,00 ) + ( 14,8 \* 0,00 ) = 8,50%  
 Generación: 2 ( 8,5 \* 1,00 ) + ( 14,8 \* 1,00 ) = 23,30%  
 Generación: 3 ( 8,5 \* 0,75 ) + ( 14,8 \* 1,00 ) = 21,18%  
 Generación: 4 ( 8,5 \* 0,88 ) + ( 14,8 \* 0,75 ) = 18,58%  
 Generación: 5 ( 8,5 \* 0,88 ) + ( 14,8 \* 0,88 ) = 20,50%  
 Generación: 6 ( 8,5 \* 0,84 ) + ( 14,8 \* 0,88 ) = 20,16%  
 Generación: 7 ( 8,5 \* 0,86 ) + ( 14,8 \* 0,84 ) = 19,74%  
 Generación: 8 ( 8,5 \* 0,86 ) + ( 14,8 \* 0,86 ) = 20,03%  
 Generación: n ( 8,5 \* 6/7 ) + ( 14,8 \* 6/7 ) = 20,00%

Los resultados presentados permiten formular los siguientes comentarios:

- Al incorporar una tercera raza en un cruzamiento rotacional, aumenta el porcentaje de vigor híbrido retenido. En un cruzamiento rotacional doble al equilibrio se retiene 2/3 (0,67) de la heterosis, en cambio, en uno triple lo hace en 6/7 (0,857).
- Sólo en la generación 2 de un cruzamiento triple el valor de la heterosis retenida es máximo tanto en las madres como en la progenie.
- Tanto en los cruzamientos rotacionales dobles como en los triples, las fluctuaciones de la heterocigosidad individual y materna va disminuyendo en la medida que transcurren las generaciones.

#### **Cruzamientos rotacionales con más de tres razas.**

El aumento en el número de razas involucradas en un cruzamiento rotacional incrementa la retención de la heterosis. Este aumento es, sin embargo, decreciente en la medida que se incorpora un mayor número de biotipos. La expresión  $(2n - 2) / (2n - 1)$  permite predecir este incremento, donde **n** indica el número de razas incorporadas. Según esta expresión la heterosis retenida sería: 2/3 (0,667), con dos razas; 6/7 (0,857), con tres; 14/15 (0,933) con cuatro; y 30/31 (0,968) con cinco estirpes.

En relación a lo indicado en el párrafo anterior, es necesario recordar que el éxito de un sistema de cruzamientos dependerá no sólo de la magnitud de la heterosis retenida, sino que además, de la productividad de las razas puras involucradas (Magofke y García 2002 a). Como la heterosis se expresa como un desvío en relación al comportamiento promedio de las razas puras, en la medida que aumente el número de éstas, difícilmente podrán encontrarse biotipos de una productividad semejante, para las condiciones ambientales en que se desarrolla la explotación. Si existe una buena evaluación de las razas puras, cada nueva estirpe incorporada se encontrará mas alejada de la productividad de la mejor raza y, en consecuencia, el promedio a partir del cual se produce el efecto de la heterosis será menor.

Esto hace que sea cada vez menos probable que la heterosis retenida, aunque aumente algo, logre mejorar lo obtenido con dos o tres razas. Por el motivo señalado, en la práctica sólo se considera el uso de dos y hasta tres razas. En un próximo artículo se desarrollarán ejemplos que cuantifiquen lo anteriormente señalado.

#### **Principales fortalezas de los cruzamientos rotacionales de tipo convencional.**

- Los cruzamientos rotacionales presentan ventajas, en relación a otras opciones de cruzamientos, en la medida que la heterosis sea elevada y la diferencia en productividad de las razas involucradas sea de escasa magnitud. Lo anteriormente indicado se logra cuando la relación  $(A-B) / H$  es inferior a 0,5 y, ojalá, lo más próxima a 0 posible. En esta expresión A expresa la productividad de la estirpe más destacada, B el comportamiento de la segunda mejor raza y H la magnitud de la heterosis expresada en las mismas unidades de medida con las cuales se evalúa a las razas puras.
- Los vientres mestizos se generan en el propio rebaño.
- Los cruzamientos rotacionales permiten retener un porcentaje importante tanto de la heterosis individual como materna. Lo anterior es relevante dado que, en medidas de eficiencia biológica para la producción de carne, la heterosis materna puede ser tanto o más trascendente que el vigor híbrido individual.
- Los cruzamientos rotacionales dobles y triples sólo se ven afectados por  $1/3$  y  $3/7$  respectivamente, de los efectos, por lo general negativos, de las recombinaciones génicas. Esto ocurre porque en estos esquemas de cruzamientos los machos siempre pertenecen a una raza pura, y sólo las hembras son mestizas. Esta es una ventaja importante con relación a sistemas de cruzamientos donde tanto machos como hembras son mestizos.

#### **Principales debilidades de los cruzamientos rotacionales convencionales.**

- Se requiere permanentemente de machos de genealogía conocida y de la aptitud deseada en las diferentes razas involucradas. Estos pueden obtenerse a través de dos vías: (1) En el propio predio. En este caso será necesario implementar monta dirigida o inseminación artificial, incluso en sistemas extensivos para producción de carne, para pequeños grupos de hembras puras. La finalidad es generar machos adecuados y con genealogía conocida para usar en las diferentes generaciones. Este requisito es importante dado que, además de requerirse machos de razas específicas en cada generación, al intervenir una misma raza, aunque sea en generaciones diferentes, estos reproductores no deben encontrarse emparentados con los que actuaron en generaciones anteriores. Este requisito se explica porque la heterosis es consecuencia del incremento de la heterocigosidad. Si se emplearan machos parientes en generaciones cercanas, donde interviene la misma raza, se produciría consanguinidad, la cual restaría una magnitud importante del vigor híbrido esperado, ya que mediante este proceso se incrementa la homocigosidad. Para poder producir machos no emparentados de una misma estirpe con un número reducido de hembras, deberán existir centros de venta de germoplasma que ofrezcan semen de líneas de características semejantes

a las que mejor se adapten a las condiciones del predio y tener una identificación completa del *pedegree* tanto de los machos como de las hembras. (2) Adquisición de reproductores en otros predios. Para ello deberá existir la oferta adecuada según las consideraciones indicadas anteriormente.

- Se necesita un mayor número de potreros destinados a encaste. Debe recordarse que en los esquemas propuestos, el tiempo se encuentra expresado en generaciones, por consiguiente, a través de los años se producirá un traslape de individuos de distintas composiciones genéticas originados en las distintas generaciones. Por este motivo se requieren potreros específicos que permitan albergar a las hembras que deben cubrirse con estirpes diferentes, y a aquellas que aun siendo cubiertas por la misma raza, deban encontrarse separadas para evitar apareamientos que originen consanguinidad. Aquellas especies y rubros donde sea factible usar monta dirigida o inseminación artificial como norma corriente del manejo reproductivo, el problema planteado desaparece, pero de todas maneras deberá implementarse un sistema de identificación eficaz.

- Debido a la mecánica de los cruzamientos rotacionales, salvo en la generación 1, no es posible dirigir los apareamientos con el fin de aprovechar las ventajas relativas de los efectos maternos o directos de determinadas razas. Esta limitación introduce problemas adicionales sobre todo cuando intervienen razas de diferente tamaño corporal y potencial lechero. En el primer caso podrían aumentar indebidamente los partos distócicos, sobre todo cuando los vientres jóvenes (dos y tres años), que por composición racial son de menor tamaño corporal, deban ser cubiertos por machos de estirpes de gran tamaño que engendran terneros con mayores pesos al nacer. El potencial lechero de las hembras también puede sufrir desbalances en determinadas generaciones donde el terneros pudiera, o desaprovechar la leche disponible o experimentar una falta de ella, para exteriorizar plenamente su potencial de crecimiento. Por último el tamaño de los vientres podría ocasionar problemas en el manejo debido a competencia por el alimento, y generar dificultad en el diseño óptimo de las instalaciones requeridas.

#### **Comentario final.**

Las limitaciones planteadas, especialmente las referidas al número de potreros de encaste y las relacionadas con las diferencias en tamaño corporal, pueden ser evitadas en gran medida con pérdidas leves de la heterosis retenida. Las medidas de manejo necesarias serán abordadas en detalle en un artículo posterior. El uso de cualquier sistema de cruzamiento requiere de una alimentación sin restricciones importantes para los vientres, acorde con los mayores requerimientos tanto por los incrementos en la producción de leche, como del tamaño corporal. No hacerlo, muy especialmente en las vacas jóvenes, podría producir importantes disminuciones en los índices reproductivos.

Es importante señalar finalmente que el desarrollo planteado se ha descrito en términos de generaciones. Dependiendo de la longevidad de las especies, en los distintos años se encontrarán presentes animales pertenecientes a un mayor o menor número de generaciones. Este traslape perdurará permanentemente en el tiempo con mayor preeminencia de una generación con respecto otras.



**Literatura citada.**

MAGOFKE, J.C. y GARCIA X. 2002 a. Uso del cruzamiento entre razas para mejorar la productividad en animales. I. Conceptos. Circular de Extensión 28:35-43.

MAGOFKE, J.C. y GARCIA X. 2002 b. 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 28:44-52.

**Anexo 1.- Aumento esperado en la heterocigocidad de los mestizos con relación a las razas puras que los originan.**

Contribución de la raza predominante en los mestizos.	Incremento de la heterocigocidad en los mestizos.	Contribución de la raza predominante en los mestizos.	Incremento de la heterocigocidad en los mestizos.
0,500 = 1 / 2	1,0	0,750 = 3 / 4	0,500 = 1 / 2
0,504 =129 / 256	0,992 = 127 / 128	0,754 = 193 / 256	0,492 = 63 / 128
0,508 = 65 / 128	0,984 = 63 / 64	0,758 = 97 / 128	0,484 = 31 / 64
0,512 =131 / 256	0,976 = 125 / 128	0,762 = 195 / 256	0,477 = 61 / 128
0,516 = 33 / 64	0,969 = 31 / 32	0,766 = 49 / 64	0,469 = 15 / 32
0,520 =133 / 256	0,961 = 123 / 128	0,770 = 197 / 256	0,461 = 59 / 128
0,523 = 67 / 128	0,953 = 61 / 64	0,773 = 99 / 128	0,453 = 29 / 64
0,527 =135 / 256	0,045 = 121 / 128	0,777 = 199 / 256	0,445 = 57 / 128
0,531 = 17 / 32	0,938 = 15 / 16	0,781 = 25 / 32	0,438 = 7 / 16
0,535 =137 / 256	0,930 = 119 / 128	0,785 = 201 / 256	0,430 = 55 / 128
0,539 = 69 / 128	0,922 = 59 / 64	0,789 = 101 / 128	0,422 = 27 / 64
0,543 =139 / 256	0,914 = 117 / 128	0,793 = 203 / 256	0,414 = 53 / 128
0,547 = 35 / 64	0,906 = 29 / 32	0,797 = 51 / 64	0,406 = 13 / 32
0,551 =141 / 256	0,898 = 115 / 128	0,801 = 205 / 256	0,398 = 51 / 128
0,555 = 61 / 128	0,891 = 57 / 64	0,805 = 103 / 128	0,391 = 25 / 64
0,559 =143 / 256	0,883 = 113 / 128	0,809 = 207 / 256	0,383 = 49 / 128
0,563 = 9 / 16	0,875 = 7 / 8	0,813 = 13 / 16	0,375 = 3 / 8
0,566 =145 / 256	0,867 = 111 / 128	0,816 = 209 / 256	0,367 = 47 / 128
0,570 = 73 / 128	0,859 = 55 / 64	0,820 = 105 / 128	0,359 = 23 / 64
0,574 =147 / 256	0,852 = 109 / 128	0,824 = 211 / 256	0,352 = 45 / 128
0,578 = 37 / 64	0,844 = 27 / 32	0,828 = 53 / 64	0,344 = 11 / 32
0,582 =149 / 256	0,836 = 107 / 128	0,832 = 213 / 256	0,336 = 43 / 128
0,586 = 75 / 128	0,828 = 53 / 64	0,836 = 107 / 128	0,328 = 21 / 64
0,590 =151 / 256	0,820 = 105 / 128	0,840 = 215 / 256	0,320 = 41 / 128
0,594 = 19 / 32	0,813 = 13 / 16	0,844 = 27 / 32	0,313 = 5 / 16
0,598 =153 / 256	0,805 = 103 / 128	0,848 = 217 / 256	0,305 = 39 / 128
0,601 = 77 / 128	0,797 = 51 / 64	0,852 = 109 / 128	0,297 = 19 / 64
0,605 =155 / 256	0,789 = 101 / 128	0,855 = 219 / 256	0,289 = 37 / 128
0,609 = 39 / 64	0,781 = 25 / 32	0,859 = 55 / 64	0,281 = 9 / 32
0,613 =157 / 256	0,773 = 99 / 128	0,863 = 221 / 256	0,273 = 35 / 128
0,617 = 79 / 128	0,766 = 49 / 64	0,867 = 111 / 128	0,266 = 17 / 64
0,621 =159 / 256	0,758 = 97 / 128	0,871 = 223 / 256	0,258 = 33 / 128
0,625 = 5 / 8	0,750 = 3 / 4	0,875 = 7 / 8	0,250 = 1 / 4
0,629 =161 / 256	0,742 = 95 / 128	0,879 = 225 / 256	0,242 = 31 / 128
0,633 = 81 / 128	0,734 = 47 / 64	0,883 = 113 / 128	0,234 = 15 / 64
0,637 =163 / 256	0,727 = 93 / 128	0,887 = 227 / 256	0,227 = 29 / 128
0,641 = 41 / 64	0,719 = 23 / 32	0,891 = 57 / 64	0,219 = 7 / 32
0,645 =165 / 256	0,711 = 91 / 128	0,895 = 229 / 256	0,211 = 27 / 128
0,648 = 83 / 128	0,703 = 45 / 64	0,898 = 115 / 128	0,203 = 13 / 64
0,652 =167 / 256	0,695 = 89 / 128	0,902 = 231 / 256	0,195 = 25 / 128
0,656 = 21 / 32	0,688 = 11 / 16	0,906 = 29 / 32	0,188 = 3 / 16
0,660 =169 / 256	0,680 = 87 / 128	0,910 = 233 / 256	0,180 = 23 / 128
0,664 = 85 / 128	0,872 = 43 / 64	0,914 = 117 / 128	0,172 = 11 / 64
0,668 =171 / 256	0,664 = 85 / 128	0,918 = 235 / 256	0,164 = 21 / 128
0,672 = 43 / 64	0,656 = 21 / 32	0,922 = 59 / 64	0,156 = 5 / 32
0,676 =173 / 256	0,648 = 83 / 128	0,926 = 237 / 256	0,148 = 19 / 128
0,680 = 87 / 128	0,641 = 41 / 64	0,930 = 119 / 128	0,141 = 9 / 64
0,684 =175 / 256	0,633 = 81 / 128	0,934 = 239 / 256	0,133 = 17 / 128
0,688 = 11 / 16	0,625 = 5 / 8	0,938 = 15 / 16	0,125 = 1 / 8
0,691 =177 / 256	0,617 = 79 / 128	0,941 = 241 / 256	0,117 = 15 / 128
0,695 = 89 / 128	0,609 = 39 / 64	0,945 = 121 / 128	0,109 = 7 / 64
0,699 =179 / 256	0,602 = 77 / 128	0,949 = 243 / 256	0,102 = 13 / 128
0,703 = 45 / 64	0,594 = 19 / 32	0,953 = 61 / 64	0,094 = 3 / 32
0,707 =181 / 256	0,586 = 75 / 128	0,957 = 245 / 256	0,086 = 11 / 128
0,711 = 91 / 128	0,578 = 37 / 64	0,961 = 123 / 128	0,078 = 5 / 64
0,715 =183 / 256	0,570 = 73 / 128	0,965 = 247 / 256	0,070 = 9 / 128
0,719 = 23 / 32	0,563 = 9 / 16	0,969 = 31 / 32	0,063 = 1 / 16
0,723 =185 / 256	0,555 = 71 / 128	0,973 = 249 / 256	0,055 = 7 / 128
0,727 = 93 / 128	0,547 = 35 / 64	0,977 = 125 / 128	0,047 = 3 / 64
0,730 =187 / 256	0,539 = 69 / 128	0,980 = 251 / 256	0,039 = 5 / 128
0,734 = 47 / 64	0,531 = 17 / 32	0,984 = 63 / 64	0,031 = 1 / 32
0,738 =189 / 256	0,523 = 67 / 128	0,988 = 253 / 256	0,023 = 3 / 128
0,742 = 95 / 128	0,516 = 33 / 64	0,992 = 127 / 128	0,016 = 1 / 64
0,746 =191 / 256	0,508 = 65 / 128	1,0	0,0

