

Facultad de Agronomía – UNLPam. Argentina

Actualización sobre el mejoramiento genético porcino

*Dr. Rodolfo Oscar Braun
braun@cpenet.com.ar*



En este artículo se describirán los principales genes con efectos “mayores” sobre los caracteres de calidad de la carne: ubicación en el mapa, modo de acción, efectos sobre la calidad, frecuencia en las distintas razas y “líneas”. Acciones que pueden tomarse para mejorar la calidad de la carne en relación con estos genes.

Se hará referencia a las características de genes detectables conocidos, con efectos mayores sobre algunos parámetros de calidad, incluyendo su frecuencia en distintas razas y poblaciones. Posteriormente una leve revisión sobre las bases genéticas de caracteres de calidad que exhiben control poligénico y variación continua. Finalmente un ítem de comentarios de interés para la producción de carne de cerdo de buena calidad, con el fin de atender las exigencias de los mercados mundiales constituidos en especialities, que han centrado la atención en estos temas que son de importancia económica.

En cuanto al gen simple recesivo denominado susceptibilidad al Halotano y al síndrome de estrés porcino, el locus, denominado Hal, posee dos alelos: el normal **N** y una mutación **n**. Los cerdos de genotipo **nn**, al ser expuestos al gas Halotano exhiben la denominada reacción de hipertermia maligna. También se denomina hipertermia maligna a la causa que provoca la presencia del alelo recesivo en el humano.

Es uno de los más importantes genes con efectos pleiotrópicos sobre varios caracteres de producción descubiertos en el cerdo. Su nombre deriva de la reacción al anestésico Halotano. Si la anestesia no se interrumpe cuando un individuo susceptible está expuesto a ella, muere rápidamente luego de desarrollar una masiva contractura muscular que interactúa con hipertermia, hipoxia y muerte por paro cardíaco.

La enfermedad incluso se expresa cuando a los cerdos se los somete a cualquier tipo de estrés, además de la presencia al gas Halotano; condición que denomina también a la enfermedad como síndrome del estrés porcino. Las causales de estrés pueden ser el transporte, movimientos, servicios, calor.

En ocasiones, frente a estos episodios, se podría volcar agua sobre la cabeza del cerdo afectado y realizar masajes cardíacos. En oportunidades algunos pueden sobrevivir.

En razón que la hipertermia maligna y síndrome de estrés porcino son caracteres recesivos, la prueba de Halotano solo detecta al genotipo **nn**.

En el humano se da con frecuencia en los niños. El problema radica en que los anestesiólogos no conocen mucho sobre esta enfermedad y a veces, ocurren desenlaces fatales. Hoy se hacen cursos sobre este tema en medicina y utilizan justamente a los cerdos para experimentar. La droga *dantrolene* es efectiva en humanos y no tanto en porcinos.

Los genotipos normales responden a la siguiente descripción:

Homocigota dominante **NN** y Heterocigota **Nn**

El genotipo susceptible: Homocigota recesivo **nn**

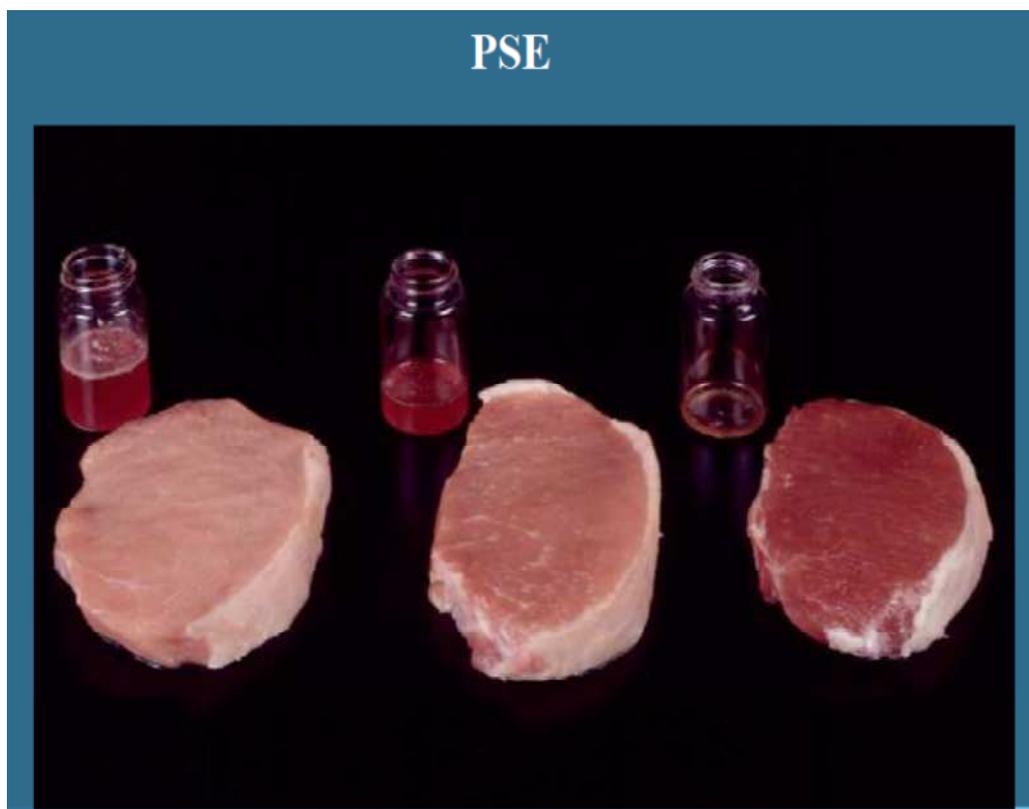
Cuando ocurre la hipertermia, la reacción, básicamente comienza con una contractura como si fuera tétanos, ésta fue la razón para que en un principio se la asocie con la entrada y salida de calcio de la célula. Pero se sabe hoy que el gen **RyR 1** es un receptor que está relacionado con la entrada y salida de calcio de la célula y que posee dos variantes alélicas: **N** y **T**. El gen ya está mapeado y clonado y además, existe una sonda de ADN que permite detectar los tres genotipos por medio de una corrida electroforética. Igualmente los alelos descritos también están asociados al estrés porcino. El defecto metabólico básico se encuentra en la proteína - un receptor - del retículo sarcoplásmico, denominada ryanodina, que justamente regula la entrada y salida de calcio de la fibra muscular. Una mutación puntual en el gen que codifica esta proteína, localizada en el cromosoma 6, provoca un movimiento irregular del Ca en el tejido muscular luego de un estímulo estresante, este efecto es entonces, el disparador para que ocurra la reacción a la hipertermia maligna.

Lo curioso es que cerdos que deberían estar reaccionando al gen Halotano (**NN**, **NT**, **TT**) no lo hacen y otros que no deberían sí lo hacen, en consecuencia están apareciendo anomalías en el **RyR** y en los procesos de detección, que ponen en dudas los modelos de herencia que sustentaban estas hipótesis. Es probable que exista un segundo gen asociado a **RyR** cuya acción en consecuencia, pueda explicar la contradicción planteada.

El gen que provoca la hipertermia maligna es importante además, por los efectos adicionales que trae a la producción e industria porcina y por tal sobre los caracteres de interés económico. Este fenómeno se conoce como efectos pleiotrópicos que a continuación se detallan:

En general las razas y líneas susceptibles al estrés producen más magro y poseen una conformación externa mejor. Los cerdos **nn** están provistos de fibras musculares grandes y blancas y se caracterizan por prevalecer en sus células más mecanismos metabólicos lipolíticos que oxidativos, que desencadena la observación de una carne blanca, blanda y exudativa al momento de la faena, circunstancia negativa para la

presentación de cortes frescos al consumidor. La causa del síndrome PSE (Sigla inglesa para denominar carnes pálidas, blancas y exudativas con muy poca retención de agua) se debe a un aumento del glicógeno de la fibra muscular antes de la faena que produce efectivamente, una acidez temprana en la carne fresca. Los **nn** otorgan a la industria una carne con leve acidez (pH: 5,5 - 5,6) con las características descriptas (PSE). Recordemos que el pH del músculo de cerdos vivos normales es de 7 a 7,2 y luego de la faena desciende; a la hora posmortem a 6,3 para culminar paulatinamente a las 24 horas post mortem en 5,8. En el caso de PSE, hay una acidificación muy rápida a una hora de la faena que se mantiene todo el tiempo. Esta rápida acidificación trae aparejada una gran pérdida de líquido, es decir, una reducida capacidad de retención de agua. En la fotografía a la izquierda carne PSE.



En tanto, los **NN** y **Nn** poseen fibras chicas y rojas y prevalencia de metabolismo oxidativo, aunque los heterocigotas en cierta forma también pueden estar propensos a presentar el síndrome. Por consiguiente, los **nn** y posiblemente los **Nn** están todo el tiempo con niveles altos de las hormonas adrenalina y noradrenalina como una forma de prevenir la enfermedad. Sabemos que estas hormonas poseen efectos lipolíticos, de manera que estos cerdos tienen menos grasa en su cuerpo pero tardan más en crecer que los normales. La presencia de susceptibles es frecuente en la raza Pietrain. Los **nn** Pietrain son muy musculosos, algunos investigadores afirman que poseen mayor proporción de músculo en los cortes valiosos, pero en la realidad cuando se hacen las mediciones experimentales no es así. Las diferencias en distribución muscular de **NN** vs. **nn** no son importantes, la cuestión es más bien geométrica que proporcional. Puesto que en la realidad un Pietrain **nn**

no posee más jamón, sólo tiene mayor masa muscular total. En este sentido es un modelo lineal que responde de igual manera para todas las razas porcinas que presenten las variantes alélicas del gen Halotano.

Las razas y líneas sintéticas que derivan del Pietrain, como variantes de la Landrace (Belga) se descartan de algunos programas genéticos por la presencia del gen Halotano. Por su parte la raza originaria de USA, Duroc Jersey, que se caracteriza por su buen crecimiento y conversión alimenticia, se la tiene presente en los programas de mejoramiento por su calidad de carne, debido a su baja frecuencia de Halotano y alto contenido de grasa intramuscular.

En otro orden, la raza Largewhite o Yorkshire originaria de Inglaterra se la tiene en cuenta porque sobresale por características de crecimiento, composición corporal y reproducción. Asimismo, la Landrace dinamarquesa cuya descendencia evolutiva deriva de la Large White, sobresale también, por los mismos aspectos.

En conclusión la frecuencia del gen Halotano en las distintas razas de cerdos es muy variable, pasando de valores muy bajos, próximos a cero en Duroc o Yorkshire, a valores intermedios en las distintas líneas de Landrace y a frecuencias del 100% en las variantes belga y en el Landrace alemán B.

Por sus efectos deletéreos es imposible usar animales **nn** puros en producción porcina. La mortalidad que exhibe este genotipo es económicamente insostenible. No obstante, se los usa extensivamente en cruzamientos, produciendo la generación comercial heterocigota **Nn**, que no presenta mortalidad muy elevada. A tal fin se emplean lo que se ha dado en denominar Líneas Terminales Especializadas, que suelen ser, o bien raza pura Pietrain o, alternativamente, cruza y líneas sintéticas con Pietrain, de genotipo **nn** o **Nn**.

Muchas firmas privadas de genética desarrollaron estas líneas, obteniendo de un salto y por única vez, materiales terminales que confieren a su progenie el beneficio de entre 1 y 2% de magro adicional en las reses que van a la faena. Es decir, que el genotipo resultante de lo expuesto es **Nn** o $\frac{1}{2}$ **NN** y $\frac{1}{2}$ **Nn**, siempre que el genotipo materno sea **NN**. El problema es que estos animales exhiben, en alta frecuencia, severos inconvenientes de calidad de carne, ya que la condición PSE es prácticamente dominante.

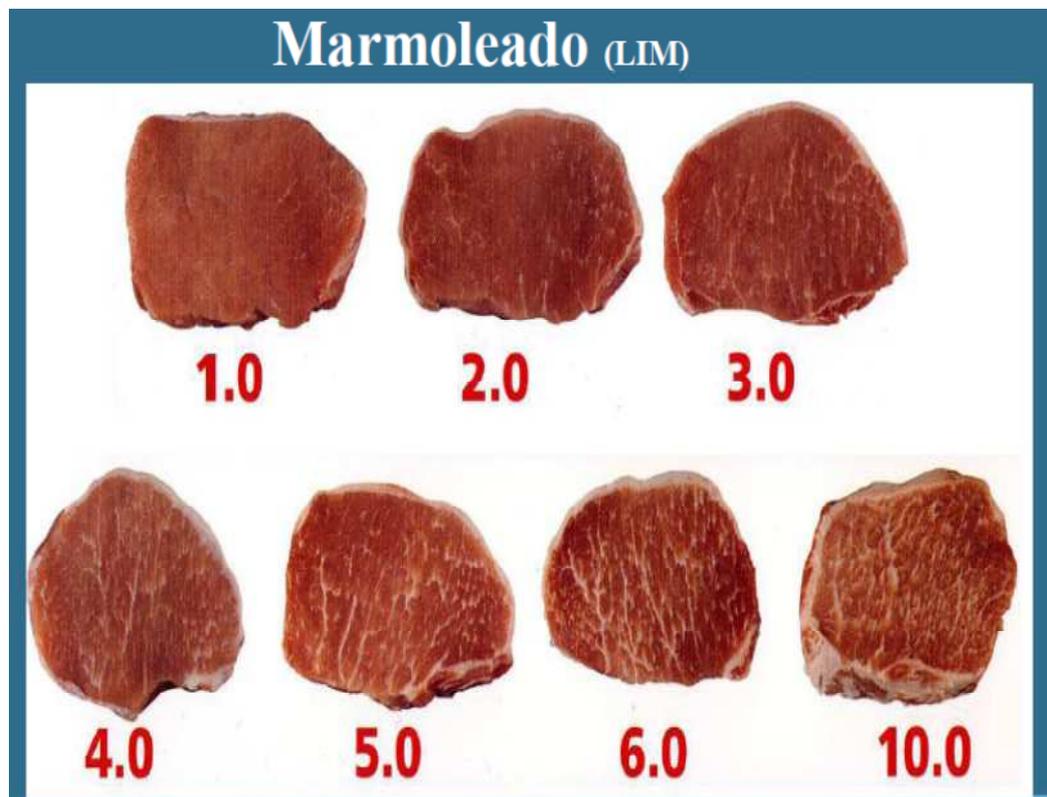
Las razas Hampshire y Spotted de USA, se caracterizan por aspectos positivos de composición corporal y buena conversión alimenticia. Ahora, Hampshire posee problemas de calidad de la carne circunscriptos a un bajo rendimiento de los jamones cocidos, que ofrecen algunos individuos de la raza. La razón radica en un inconveniente genético descubierto hace poco en Francia, específicamente en el INRA. Se denominó efecto Hampshire y al fenómeno se lo mide por medio del **RN (Readment Napole)** que se refiere al rendimiento en carne cocida sobre la fresca sometida a la cuestión. Lo cierto es que hay un gen mayor que afecta el **RN** y está en una alta frecuencia (0.6) en esta raza y en las otras casi no existe. Se conocen dos alelos de este locus ubicado en el cromosoma 15: **RN-** y **rn+**.

El alelo **RN-** al igual que Halotano hace aumentar el glicógeno en la fibra muscular y como resultado de ello, produce un descenso del pH de la carne hasta 5,4 y 5,3, dándole mucha acidez. En la industria se conoce a este fenómeno como acidez tardía. La diferencia con Halotano es que el aumento de glicógeno muscular de los **RN** susceptibles es excesivamente mayor, hasta un 70 %, razón que conlleva a carnes mucho más ácidas que las de Halotano, y en consecuencia contribuye a un mal rendimiento en el proceso de cocción de los jamones. La industria requiere jamones con pH 5,8 - 5,9.

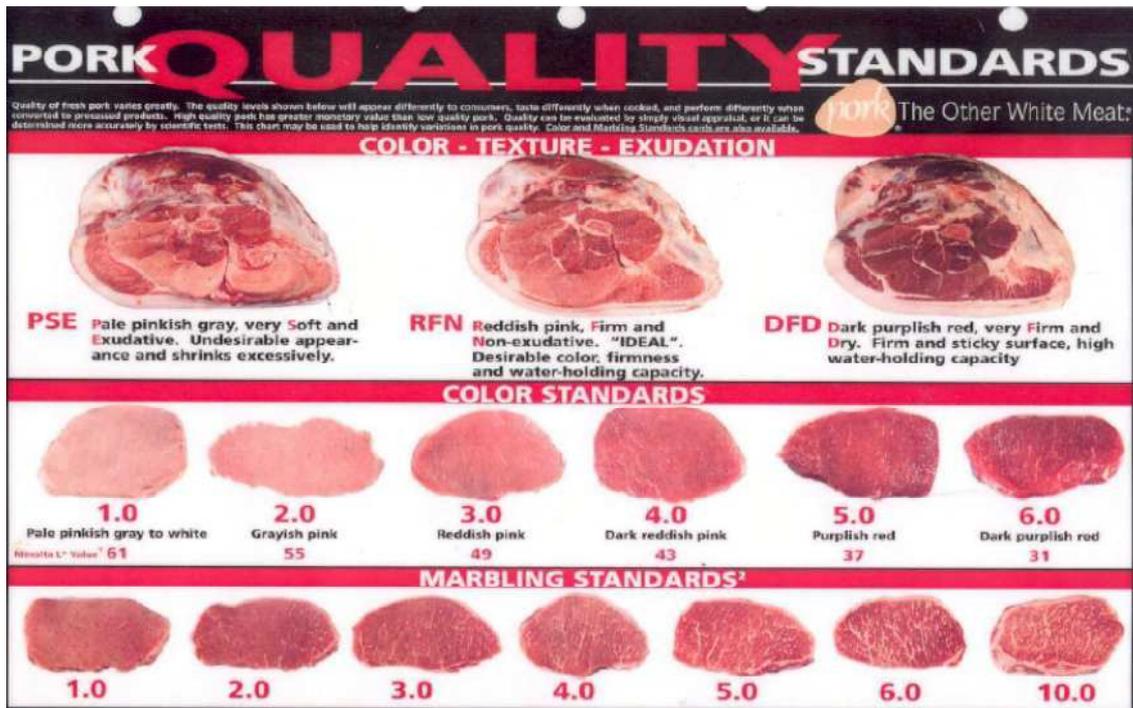
El efecto del aumento del contenido de glicógeno se verifica tanto en los homocigotas como en los heterocigotas, razón que el aumento del glicógeno producido por este gen es un carácter dominante. El potencial glicolítico se mide en músculo fresco. La consecuencia de este enorme aumento de potencial glicolítico es una tasa normal de descenso del pH post mortem, pero cayendo a valores muy bajos. Efecto que se circunscribe a carnes con reducida capacidad de retención de agua y bajo contenido de proteína intramuscular, dando como resultados malos rendimientos en la industria de fiambres.

A diferencia del gen Halotano, el gen **RN** no parece tener efectos pleiotrópicos sobre otros caracteres de interés económico.

Además de estar presente en la raza Hampshire también se lo encuentra en líneas sintéticas terminales formadas en base a cruzamientos con Hampshire, como la denominada Pen-Ar-Lan que se comercializa en la Argentina. En la siguiente fotografía se muestra el marmoleado de la carne y la escala (1.0 muy magra; 10.0 con más contenido en grasa: mayor jugosidad y aroma).



En la siguiente los estándares internacionales de calidad.



Otros genes

Finalmente en cerdos está presente el locus de multiincompatibilidad **SLA**, que condiciona el rechazo a trasplantes de órganos. Es un locus muy complejo compuesto por genes de características polimórficas dentro de un espacio muy reducido, menor a 1 Cm. Da 40 protipos que determinan una gran variante de rechazos a injertos. Existe un gen ligado a **SLA** que define mayor tamaño de camada.

En la actualidad ha despertado interés el sistema enzimático de la calpaína, asociado con el grado de terneza de la carne luego del proceso de maduración. En particular, interesa la variación que exhibe la actividad de la calpastatina, enzima inhibidora del sistema.

Otro gen interesante es **h-FABP**, que estaría asociado con el contenido de grasa intramuscular. En la actualidad ambos genes todavía no son aplicables a la producción.

En el siguiente Cuadro se señala lo que se conoce hasta ahora del mapa genético, en relación a los caracteres de variación continua o de características cuantitativas. La técnica descrita en la bibliografía como **QTLs (Quantitative Trait Loci)** estipula que para el mapeo se utilizan instrumentos marcadores denominados micro satélites, que establecen la región del cromosoma de importancia económica.

Caracteres de variación continua

Carácter afectado	Cromosoma mapeado	Vp (Variación genotípica)
1. Crecimiento y composición corporal		
* Espesor de grasa dorsal	4	20%
* Velocidad de crecimiento	4	20%
* Espesor de grasa dorsal	13	7%
* Velocidad de crecimiento	13	7%
SLA	7	-
* Espesor de grasa dorsal	-	-
* Velocidad de crecimiento	-	-
* Espesor de grasa	6	-
* RYR 1	-	-
2. Calidad de carne		
* pH Halotano	6	pH1 5,5
* PSE Halotano	6	pH1 5,5
↓		
* RYR1	-	-
* RN	15	pH24 5,4 - 5,3
H - FABP (High Fat Bindic Protein). Alto nivel de grasa intramuscular su variante alélica.	-	-
* Grasa intramuscular	-	-
* Calpastatina (enzima)	-	-
I - i (Gen de inhibición de color, blancos) Favorece a la industria frigorífica.	-	-

Además de los efectos de genes mayores, la mayoría de los caracteres de calidad de carne exhiben herencia poligénica.

Heredabilidad (h^2) de distintos caracteres de calidad de carne (NPPC, 1995)

CARÁCTER	h^2
pHu	0,38
Capacidad de retención de agua	0,19
Pérdida de líquido (%)	0,16
Reflectancia (Minolta)	0,25
Color (1a5)	0,17
Lípidos intramusculares (%)	0,47
Terneza Instron (kg)	0,20

Se puede observar que solo pHu y lípidos intramusculares presentan heredabilidades altas, algunos de estos podrían ser incorporados a planes de mejoramiento. En este sentido varios programas lo han hecho. Hay que considerar que distintas poblaciones de cerdos exponen diferencias en estos caracteres.

En el caso de Hampshire, la progenie de machos ha dado carnes de menor calidad, muy ácidas, exudativas, pálidas y duras. Asimismo, Duroc ha exhibido en estudios realizados, carnes con pH correcto, alto contenido en lípidos intramusculares y muy tiernas.

El pH, capacidad de retención de agua y el color son buenos en las progenies de Newshan, Yorkshire y Large White, pero la carne es más dura y con menos grasa intramuscular. El Danbred (híbrido danés Duroc x Hampshire) presenta alta pérdida de líquido en sus cortes, propio de la raza paterna que le dio origen (Hampshire), pero presenta terneza intermedia.

Elección de genotipos apropiados para producir carne de buena calidad

Tanto para el consumo de carne fresca como para la industria de fiambres cocidos o elaboración de salazones, es necesario prescindir del gen Halotano, es decir, abstenerse de usar los genotipos Pietrain, Landrace belga y sus derivados híbridos o sintéticos.

Por otro lado, hay que excluir al gen RN-, esto implica no utilizar a la raza Hampshire ni sus híbridos o derivados sintéticos, dado que en estos materiales ese gen se encuentra en muy alta frecuencia.

Teniendo en cuenta que la industria del jamón seco y curado de alta calidad requiere materia prima con bajo contenido de grasa intramuscular, es probable que los machos terminales de las razas Large White - Yorkshire y sus híbridos o derivados sintéticos, por supuesto, libres del gen Halotano y RN-, den muy buenos resultados para estos fines.

Con respecto al mercado de carne fresca, que tienen en cuenta carnes tiernas, jugosas y de buen sabor, el material más adecuado es Duroc, o sus híbridos y derivados sintéticos. Estos cerdos exhiben menor sensibilidad a varios factores de estrés.

Comentarios

En el caso de carne fresca de cerdo, hoy se acepta universalmente que son tres los factores que pueden ser afectados por variación genética y que además son muy relevantes para los consumidores: terneza, jugosidad y aroma. Los consumidores europeos en general, están dispuestos a pagar un sobreprecio por carnes que exhiban estas características y tienden a rechazar carnes de colores muy extremos: pálidas o muy oscuras. Por lo tanto se

han buscado una serie de mediciones objetivas que estén estrechamente relacionadas con ellas.

Las preferidas son: pH1 (1 hora post mortem) y pHu (24 horas post mortem), contenido de lípidos intramusculares y terneza. El pH de la carne (su grado de acidez) está asociado con la terneza de la siguiente manera: carnes muy ácidas tienen menor capacidad de retención de agua, estando la terneza asociada positivamente con la capacidad de retención. Es decir mayor retención mayor terneza. En general pH1 está indicado para la oferta de carne fresca. Ahora, la acidez de la carne no sólo está asociada a la calidad de la carne fresca, sino también con la calidad de la carne para otros destinos: fiambres cocidos y fiambres secos. En este último aspecto pHu es un buen indicador para la calidad industrial.

Desde el punto de vista de la industria elaboradora de fiambres cocidos hay un parámetro que es atendido por encima de los demás: se requiere que la pérdida de líquidos durante la cocción sean mínimas, para lograr un máximo rendimiento del producto. Se trata, en consecuencia, de la ya mencionada capacidad de retención de agua, que debe ser alta.

Las carnes que se acidifican demasiado exhiben una mayor desnaturalización de las proteínas estructurales de las fibras musculares, que determinan una elevada pérdida de líquido intracelular y de proteínas. No obstante, las variaciones de color dentro de una pieza anatómica dada, también constituyen un problema de calidad para la industria procesadora de fiambres cocidos.

En otro sentido los chacinados por salazón pueden clasificarse en dos categorías: a) productos enteros, como el jamón y la bondiola y b) embutidos, compuestos por una mezcla de carne fresca y picada, como los salamines de tipo italiano, español o francés. Ambos tipos de productos tienen exigencias similares de materia prima de calidad. Lo más destacado que la industria pretende es que la carne que se exhibe a estos procesos sea adecuada para la salazón. Esta se define cuantitativamente como una mínima pérdida de líquido y una buena absorción de sal durante el proceso completo de producción, de las cuales no solo depende el rendimiento tecnológico sino también varias propiedades organolépticas como el sabor y la textura. Se trata entonces de la capacidad de retención de agua, asociada como ya se explicó, con la acidez.

Otra característica que es de importancia, aunque menor a la anterior, es el contenido de grasa intramuscular, que no debería ser demasiado alto.

Finalmente, otro aspecto que determina la calidad final de las salazones es la resistencia de la grasa al enranciamiento. Esta es inversamente proporcional al contenido de ácidos grasos poli insaturados- en especial linoleico - que, por supuesto, no debería ser muy alto. El reglamento del consorcio de Parma, establece un límite superior de 15% de ácido linoleico, equivalente a un índice de iodo de 70 en el contenido total de lípidos de los jamones frescos.

Objetivos y criterios de selección

Los principales objetivos de selección en el mejoramiento genético actual se refieren a: velocidad de crecimiento, contenido de magro, conversión alimenticia y tamaño de la camada.

En el siguiente cuadro se detallan algunos objetivos de selección usados en el mejoramiento genético porcino y los criterios de selección para cada uno de ellos:

1. Objetivo de selección: Características que se desean cambiar por medio de la selección.

2. Criterio de selección: Cómo medirlos para evaluarlos cuantitativamente.

OBJETIVO DE SELECCIÓN	CRITERIO DE SELECCIÓN
Velocidad de crecimiento	Aumento diario de peso entre 25 y 30 kg y 90 - 100 kg.
Conversión alimenticia	Consumo de alimento diario/ganancia diaria de peso.
Proporción de tejido magro	<ul style="list-style-type: none"> * Espesor de grasa subcutánea (mm) * Conductividad eléctrica * Imágenes tomográficas * Resonancia magnética nuclear (MNR) * Superficie del ojo del lomo (músculo LD y anexos) * Sondas (Densidad y RLM) * Proporción de tejido magro en distintos cortes * Proporción de grasa en distintos cortes
Color de la carne	<ul style="list-style-type: none"> * Escalas subjetivas * Reflectometría
Retención de agua en la carne	Tiempo de imbibición (papel)
Prolificidad	<ul style="list-style-type: none"> * Nº de lechones nacidos * Nº de lechones destetados * Tasa de ovulación
<i>Línea materna</i> <ul style="list-style-type: none"> * Capacidad reproductiva * Prolificidad * Capacidad lechera * Habilidad materna * Ganancia diaria de peso * Contenido de carne magra * Grasa dorsal * Eficiencia de conversión alimenticia 	partos/hembra/año nacidos/hembra/año peso camada a los 21 días mortalidad en lactancia
<i>Línea terminal</i> <ul style="list-style-type: none"> * Ganancia diaria de peso * Rendimiento de la canal * Contenido de carne magra Porcentaje de cortes magros de importancia económica	

Medición de grasa dorsal



Antes de incursionar en los métodos para ponderar económicamente la variación de estos caracteres es necesario considerar algunos conceptos y reflexiones previas:

¿Qué es la selección?

Consiste en elegir con precisión individuos de una población como procreadores para la generación siguiente, cuyas características hereditarias han de asegurar una mejora de los resultados económicos.

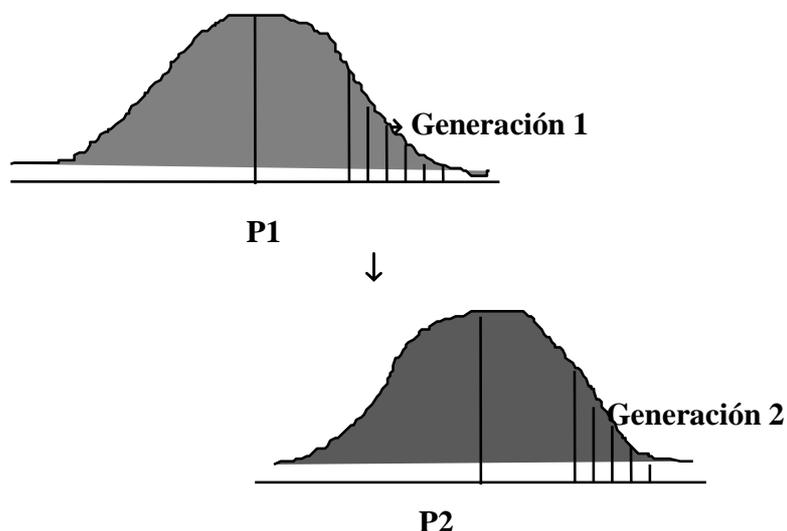
En tal sentido la selección se basa en:

1. La herencia de los caracteres, y objetivamente, se miden a través de las varianzas genotípicas en razón que:

$$\begin{array}{l} \text{FENOTIPO} \\ \text{(Factor medio} \\ \text{hereditario)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{GENOTIPO} \\ \text{(Predisposición} \\ \text{hereditaria)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{MEDIO AMBIENTE} \\ \text{(Todas las influencias} \\ \text{exteriores)} \end{array}$$

2. La base de la selección consiste en escoger con precisión los individuos.
3. Las generaciones han de sucederse con bastante rapidez.
4. En los cerdos el intervalo generacional es rápido.
5. La selección toma en cuenta el valor económico de cada carácter medido.

Representación de una generación de selección



P1 y P2= Medias fenotípicas

En la selección debemos tener en cuenta que:

* La selección de los reproductores debe ser una elección de aquellos genotipos que se consideran más adaptados a la finalidad de la crianza y cuya **frecuencia** se quiere aumentar en el seno de la población con el transcurso de las generaciones.

* Los animales no se presentan al hombre como la expresión **exacta** de su sustrato genético, sino como una interacción de sus **factores hereditarios** y el **ambiente**, denominado **fenotipo**.

* La precisión con la cual es posible evaluar el genotipo individual depende del **grado de heredabilidad (h^2)** de un determinado carácter.

* Al cambiar las frecuencias genéticas en la población, los cambios producidos por el progreso de selección son **permanentes**.

* Al contrario de lo que sucede con la selección, las ventajas que otorgan los cruzamientos **no son permanentes** y estos deben repetirse en todas las generaciones.

Hazel en 1943 comienza con la selección medida cuantitativamente y determina funciones lineales para cada objetivo de selección a través del valor genotípico agregado (H) y el índice de selección.

$$H = (G+a)+\dots$$

G= Valor genético en el carácter

a= Coeficiente relacionado con la importancia económica del

carácter.

$$\text{Índice} = (b+P)+\dots$$

P= Valor en el criterio de selección

b= Coeficiente apropiado

Finalmente la respuesta a la selección o predicción del progreso genético se puede evaluar mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{i r_{HI}}{L} H$$

i= Intensidad de selección

r_{HI} = Correlación entre el mérito genético global (objetivo) y el índice (criterio).

L= Intervalo generacional

$$\text{Progreso genético anual} = \frac{\text{(Exactitud de la selección)} \quad \text{(Intensidad de selección)} \quad \text{(Variación genética)}}{\text{(Intervalo entre generaciones)}}$$

Reflexiones

1. El mérito genético global está determinado por la variación de distintos caracteres de importancia económica.

2. Para estimar el mérito genético global es necesario minimizar los efectos de la variación ambiental sobre los caracteres.

Métodos de evaluación de los reproductores de la especie porcina y méritos relativos de cada uno de ellos

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	(i)	(r_{HI})	(L)
Control de la descendencia o prueba de progenie (Progenie Test)	Se basa en el examen de la característica de la propia descendencia y se valora estadísticamente examinando un número adecuado de sus descendientes. Único adaptado para valoración de la línea masculina.	Baja	Alta	Largo
Control individual o performance test	Método de estimación del valor reproductivo de un animal sobre la base de la característica que el mismo presenta.	Alta	Baja	Corto
Colateral de selección	Consiste en someter al verraco en examen a una prueba de hermanos mediante el control de una muestra de lechones de su misma camada y hermanos enteros.	Media	Alta	*Corto

* El intervalo generacional es corto cuando los animales emparentados son de la misma generación o de generaciones previas. Si son de generaciones posteriores el intervalo es largo.

En síntesis, de los caracteres cuantitativos nos interesa la h^2 , que está directamente relacionada a la respuesta genética, y las correlaciones que determinan los cambios a incorporar.

El método REML (Restricted, Maximun, Libelidroad) estima la h^2 de distintos parámetros genéticos, mediante decenas de miles de corridas interactivas (derivadas) y supone que la h^2 es:

$$h^2 = \frac{V_a \text{ (varianza aditiva)}}{V_f \text{ (varianza fenotípica)}}$$

Los cambios dependen de las frecuencias génicas.

En cuanto a correlaciones: A mayor velocidad de crecimiento, más grasa (antes se pensaba que era al revés). Cuando más crecen menor consumo. Los animales que crecen más rápidamente y con mayor magro, tienden a tener camadas más chicas. A mayor contenido de magro mejora la eficiencia de conversión alimenticia. El tamaño de la camada disminuye en individuos de mayores velocidades de crecimiento.

También hoy se puede afirmar que a mayor contenido de magro disminuye la calidad de la carne.

El BLUP AM (Best Linear Unbiased Prediction, Animal Model) es un modelo que optimiza los métodos actuales de selección. Determina valores genéticos y sus correlaciones en un animal, basado en la información de toda la genealogía sanguínea (familiares). Con toda esta información se logra una mayor certeza de una característica genética, reduciendo fuertemente la probabilidad del azar y el efecto de medio ambiente. El BLUP maximiza la precisión de selección (r_{HI}) al utilizar todo el pedigree del animal en estudio, razón que desplaza a todos los métodos de selección descriptos párrafos arriba.

Biología evolutiva

Lo cierto es que la selección artificial no difiere del proceso evolutivo y el mejoramiento natural, sólo que se acorta por la propia presión de selección que caracteriza a las metodologías creadas por el hombre.

1. Selección a corto plazo

En este sentido Bulmer de la universidad de Oxford hizo un aporte significativo en referencia a la selección a corto plazo, y postuló una fórmula para la respuesta a la selección:

$$R = h^2 \times S \text{ (diferencial de selección)} \\ = i h^2 \sigma_A$$

El error de Bulmer fue suponer que la respuesta a la selección es así eternamente dentro de una población, pero en realidad la selección produce una reducción en la varianza aditiva (σ_A^2) que se denomina desequilibrio gamético o desequilibrio de ligamiento.

Aspecto que genera una varianza aditiva (σ_A^2) negativa dentro de la población que hay que restársela a la varianza total (σ^2_{total}). Lo curioso que esta varianza aditiva negativa no es un efecto despreciable porque representa $\frac{1}{4}$ de la σ_A^2 . En caso que se pare la presión de selección se recupera, sobre todo si los genes están ligados.

La mejor forma de seleccionar es en la población, no hay que subdividir.

2. Probabilidad de fijación de los alelos favorables (Aporte de Alan Roberson)

Roberson postula que la probabilidad de fijación de los alelos favorables depende del tamaño efectivo de población y del valor selectivo del alelo:

$Ne \times s$ (Tamaño efectivo x valor selectivo)

¿Cómo determinar el tamaño efectivo de población en cerdos?

$$\frac{1}{Ne} = \frac{1}{4N \text{ machos}} + \frac{1}{4N \text{ hembras}}$$

En razón que en la población porcina el nº de machos es bastante menor al de hembras, si estuviéramos frente a una población porcina (N) de 200 hembras y 5 machos, el tamaño efectivo de población que posiblemente se pueda aparear es 20.

Finalmente, *la importancia de las mutaciones en la escala del tiempo* que se producen en el mejoramiento animal, no son despreciables, porque la h^2 mutacional es acumulativa y afecta a la σ_A^2 de mutación en razón que:

$$h^2 = \frac{\sigma_A m}{\sigma p} = 0,1 \% \text{ (acumulativa)}$$

Ahora, si los genes son neutros la varianza mutacional responde a la siguiente fórmula:

$$2 Ne \sigma_A m.$$

En cuanto a métodos de mejoramiento interesan los objetivos de selección y el modo de estimación del valor genético.

Como ya lo mencionara párrafos arriba Hazel (1943) inicia las mediciones cuantitativas de caracteres que afectan la eficiencia económica determinando el valor económico genotípico global:

$$H = \sum_i^m a_i G_i$$

H= valor económico genotípico global

m= caracteres

a_i = coeficiente apropiado

G_i = valor genético

La ecuación corresponde a una función lineal, y se adapta en casi todos los casos de alta h^2 , excepto en caracteres que poseen su valor óptimo en términos intermedios (ej.: pH). En estas circunstancias la función no es lineal sino curvilínea.

Existen mecanismos para derivar estos valores:

1) *Maximizar la ecuación de ganancias (Profit equation)*. Ecuación que maximiza y describe las ganancias:

$$G = IB - Cc - Cr$$

G = ganancia en \$

IB = ingreso bruto

Cc = costo de crecimiento de la progenie

Cr = costos reproductivos

El inconveniente de maximizar la ecuación de ganancias está en el enfoque que le demos a la ecuación, en razón que la respuesta a la selección de caracteres de importancia económica depende de los coeficientes a . Coeficientes que varían según la referencia que le demos a la ecuación de ganancia: beneficio obtenido por cada cerda madre en producción, o por cada lechón producido o por kilogramo producido. Un ejemplo:

$$G = N (nWV - n C1 d - C2)$$

N = n° de cerdas en la granja

n = n° de progênes vendidas por cerda

W = peso del tejido magro individual

V = valor del magro en \$

C1 = Costo fijo del crecimiento de cada cerdo

d = n° de días que está en engorde

C2 = costos fijos de instalaciones y alojamientos/madre/año

Variación del coeficiente a en base a distintos criterios de evaluación económica

Base de evaluación	Ganancia	ai S*
		$\frac{\partial G}{\partial n}$ $\frac{\partial G}{\partial d}$ $\frac{\partial G}{\partial W}$
Por hembra	$G1 = nWV - nC1d - C2$	$WV - C1d$ $- nC1$ nV
Por individuo (cerdo vendido)	$G2 = W1V - C1d - C2$	$C2/n^2$ $-C1/n^2$ V
Por kg vendido	$G3 = V - C1d/W - C2/Wn$	$C2/n^2W$ $- C1/W$ $1/W^2(C1d+C2/n)$

* Variaciones del coeficiente a

El problema de las variaciones del coeficiente a puede resolverse cuando ponemos las ganancias = 0. Así, los coeficientes se igualan y se pueden derivar coeficientes únicos. Ahora, ¿Qué significa hacer estas estimaciones en los programas de mejoramiento genético, y que las ganancias normales pasen a ser costos de producción?: Se logra un beneficio en el consumidor porque se reducen costos, y a los productores les permite seguir en un negocio que lógicamente va acompañado de los beneficios de la selección. En síntesis, estos programas benefician a la sociedad en su conjunto.

2) Maximizar la eficiencia económica unitaria

Eu = IB/C producción

Es una aproximación sugerida por Dickerson que para la especie porcina puede ser representada de la siguiente manera:

$$Eu = (PH \cdot VH) + N(Pp \cdot Vp) (CH/año + (CFH + P^{0.75} Am) + NAp + Nd (CFd + P^{0.75} \cdot Amp + APp) + CFp)$$

Eu= Eficiencia unitaria por hembra en el criadero
 PH= peso de la hembra de reemplazo
 VH= valor del peso de la hembra de reemplazo
 N= N° de la progenie (n° de cerdos vendidos por hembra/año)
 Pp= peso de la progenie
 Vp= valor del precio de la progenie
 CH= costo de la hembra de reemplazo/año (Precio reemplazo/años)
 CFH= Costos fijos por hembra y por año
 $PH^{0.75}$ = Peso metabólico de la hembra
 Am= gastos de alimentación para mantenimiento de la hembra
 Ap= Gastos de mantenimiento que va a la producción (gestación - lactancia)
 Nd= días en engorde de la progenie, y N es el n° de cerdos/año
 CFd= costo fijo/cerdo vendido/día
 $Pp^{0.75}$ = peso metabólico de la progenie
 Amp= gastos para mantenimiento de la progenie
 APp= gastos para la producción (crecimiento) de la progenie
 CFp= Costos asociados por cada progenie a la sanidad, comercialización, etc.

Igualmente, esta fórmula es muy relevante para el caso de vacunos, pero no tanto en cerdos, debido a que el aumento corporal de los cerdos a una edad dada, está muy relacionado a los costos de mantenimiento de los reproductores.

De igual forma que en la anterior, a partir de esta ecuación se derivan los coeficientes económicos. Todo se simplifica si se incorporan los elementos en un programa de simulación, y también, si incorporamos todos estos elementos en un programa de gestión, se podrán controlar los caracteres económicos que se van introduciendo en la granja.

En cerdos los costos fijos varían mucho si se trata de confinamiento o sistema a campo.

Algunos programas proponen trabajar con caracteres biológicos como VCTM (velocidad de crecimiento del tejido magro), y CATM (conversión alimenticia del tejido magro), único objetivo biológico de importancia económica. En cuanto a VCTM, lo realiza INTA y se calcula por ecuaciones de predicción, actualmente los cerdos entre los 25 y 90 kg de peso vivo rondan aproximadamente en 400 g/día.

Como conclusión se puede afirmar que el enfoque de Dickerson también plantea poner las ganancias a 0 como en el caso anterior, de modo que el modelo también beneficia a la sociedad en el largo plazo; el productor sí o sí se ve obligado a tomar un programa de mejoramiento simplemente para mantenerse en el negocio.

El problema quizás radique, cuando las compañías de mejoramiento trabajan internacionalmente y sus núcleos se encuentran muy alejados de los lugares de multiplicación. En realidad están mejorando en ambientes muy diferentes y difícilmente un productor o empresa comercial porcina pueda contextualizar estos factores en la fórmula descripta, en razón que colapsa el beneficio que se planteó y obviamente el plan de mejoramiento. Cuando más alejados de la realidad contextual de cada lugar, más difieren los costos, eficiencias, etc.

Hay objetivos de selección que se están considerando para el futuro, el motivo está en cómo valorarlos económicamente. Entre ellos podemos mencionar: Calidad de la carne, capacidad de retención de agua, pH, calidad de la grasa, resistencia a enfermedades.

Finalmente, con BLUP se ha logrado mucho en relación a los valores genéticos (G), porque maximiza la precisión de la selección al utilizar todos los datos y registros del pedigree del animal en estudio, de modo que predice valores genéticos para el futuro sin estimarlos a través de pruebas efectivas como en los viejos métodos de mejoramiento.

¿Cómo lo hace? , Si partimos del hecho de que $\mathbf{H} = \sum_i^m \mathbf{a}_i \mathbf{G}_i$, que es una función lineal y con el supuesto que conocemos \mathbf{a}_i , entonces, si:

$R = h^2 S = i h^2 \sigma_A = i r_{HI} \cdot \sigma_A$, con BLUP podemos pasar a:

$$\mathbf{G} = h^2 (\overline{\mathbf{Vp}} - \mathbf{Vp})$$

\mathbf{Vp} = valor genético del individuo y $\overline{\mathbf{Vp}}$ = valor genético de la población.

En el INTA se agrupan animales que son contemporáneos y se trabaja con dos efectos aleatorios (camada donde nace el individuo y valor genético), dos fijos (granja/año/estación y sexo) y variables continuas.

El modelo es el siguiente:

$y = (\text{granja/año/estación})_i + (\text{sexo})_j + (\text{camada donde nace el individuo})_R + (\text{VG del individuo}) + \text{Peso inicial} + \text{Edad inicia} + \text{Peso final} + e$

Cuando se utiliza BLUP se trabaja con una serie de supuestos de varianzas, covarianzas y error y en términos de álgebra de matrices es:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{XB} + \mathbf{Za} + \mathbf{e}$$

\mathbf{Y} = vector de observaciones

\mathbf{X} = matriz de 0

\mathbf{Z} = matriz de 0 y 1 en la diagonal

Si:

$$\mathbf{Va} = \mathbf{A} \cdot h^2 \sigma_{py}^2$$

\mathbf{Va} = varianza de efectos aditivos

\mathbf{A} = matriz de parentesco o de coancestrías

σ_{py}^2 = varianza fenotípica

y,

$$\mathbf{V error} = \mathbf{I} (1 - h^2) \sigma_{py}^2$$

\mathbf{I} = matriz de identidad con unos (1) en la diagonal

$$\begin{pmatrix} X'X & X'Z & \dots & \dots \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} \frac{(1-h^2)}{h^2} & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'Y \\ X'Z \end{pmatrix}$$

β = vector de efectos fijos
 a = vector de efectos aleatorios

La matriz se resuelve por métodos numéricos y las estadísticas se desarrollan por el método de los cuadrados mínimos que supone a los datos independientes.

En general, métodos como GLS (generalized least - square) programas y máquinas son muy potentes, pero es frecuente que los datos que incorporamos en ellos estén mal.

En este sentido los problemas más frecuentes que llevan a errores en la información son:

- * Grupos de animales contemporáneos pequeños
- * Mala distribución de las familias dentro de los grupos
- * Poca progenie por padre
- * Mala conexión de los datos

El problema de BLUP y PIGBLUP está cuando los datos que incorporamos no son normales, como por ej.: la supervivencia. En este caso se pueden utilizar otros métodos que toman la distribución de los datos a priori, tal el caso de los métodos bayesianos. En este orden GIBBS SAMPLER y MCMC (Markov Chain Monte Carlo) se están imponiendo en los planes de mejoramiento como BLUP AM y BLUP AMM.

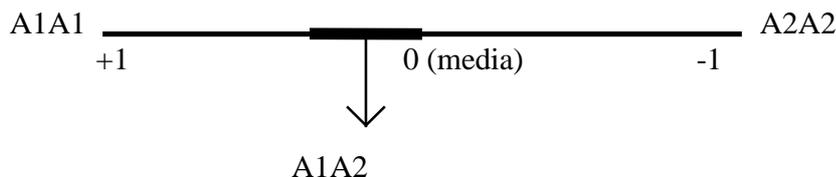
Cruzamientos

En la actualidad los cruzamientos se utilizan regularmente en las empresas porcinas con dos propósitos:

- a) Explotar la **heterosis** (Base biológica del cruzamiento).
- b) Combinar los rasgos deseables de dos o más razas, se denomina a este aspecto **complementariedad** (Base económica del cruzamiento).

¿Qué es la heterosis? Es una medida de un carácter, en que los híbridos resultantes de un cruzamiento superan al promedio de ese carácter de las razas parentales. Todo depende de la dominancia de cada uno de los locus que afectan al carácter.

El carácter heterocigota resultante de un cruzamiento debe estar desviado de la media para ese carácter en los padres para que haya dominancia. Se puede representar la dominancia de la siguiente forma:



Si el carácter está afectado por varios genes, las dominancias deben ser direccionales, es decir todo hacia un lado o hacia el otro (\leftarrow ó \rightarrow) respecto de la media.

Cuando cruzamos razas muy extremas (cosa que se hacía antes) hay heterosis de locus, en la actualidad se cruzan razas mejoradas (más precisamente líneas) con un fin bien preciso para lograr heterosis en caracteres bien determinados, cuya frecuencia génica no se altera con el pasar de las generaciones. Es decir han sido fijados previamente por selección, en razón que al cambiar las frecuencias génicas en la población a través de mecanismos de selección, los cambios producidos por el progreso de selección son permanentes.

La heterosis puede ser *directa*, cuando cruzamos AxB. Es decir padres puros que dan como resultado progenies (AB) híbridas.

Ahora, si cruzamos AB como madre x C tenemos además, heterosis *materna* con efecto aditivo. Si cruzamos AB x A, también tenemos heterosis materna pero con efecto de substracción porque resta del total, a la directa, por la propia reducción que otorga la retrocruza.

Ejemplo:

		<u>H. directa</u>		<u>H. materna</u>
	%	Unidades	%	Unidades
<i>Caracteres de importancia económica</i>				
-Tamaño de la camada al nacimiento (x)	3	0.3	8	0.8
- Tamaño camada al destete (n)	6	0.54	11	1
- Velocidad de crecimiento (g/d)	6	48	-	-
- Conversión alimenticia (Cons/gan)	3	-0,09	-	-
- Contenido de magro (%)	0	0.00	0.00	0.00

Todos estos efectos son aditivos: Si es AB x C en el carácter tamaño de la camada al nacimiento sumamos $0.3 + 0.8 = 1,1$.

Si es retrocruza AB x A restamos $0.8 - 0.3 = 0.5$ debido a la reducción de la heterosis directa por retrocruza.

Esto nos demuestra que el principal fenómeno del cruzamiento está en la capacidad reproductiva de la madre híbrida. Por eso hoy tiene tanta justificación utilizar madres híbridas, precisamente por el efecto materno.

A la hora de la realidad, cuando elegimos líneas para cruzar, todo esto que vimos va a depender de la frecuencia génica de cada carácter que se ha instalado por selección en cada una de las razas y de la heterosis (distancia genética entre las dos razas). Cuando más distantes las líneas mayor heterosis.

Hay más heterosis cuando se cruza una línea mejorada europea, con otra mejorada de USA que dos mejoradas europeas o blancas.

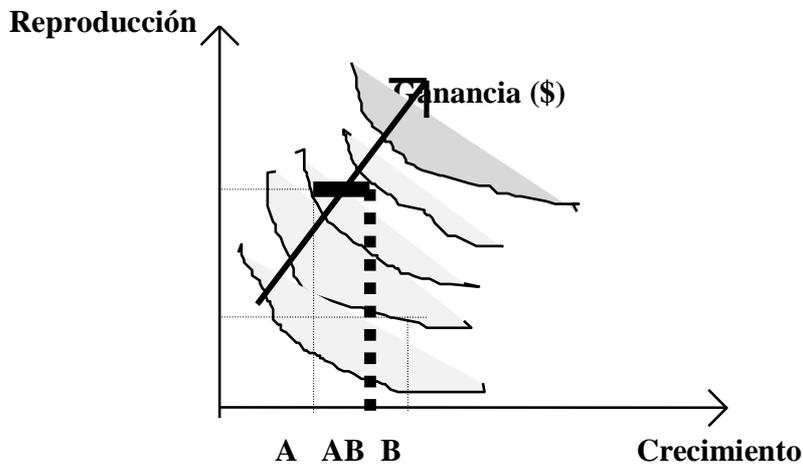
¿Qué es la complementariedad?

Es el beneficio económico que se obtiene de un cruzamiento, independientemente que haya o no heterosis biológica.

Por ejemplo: Hay razas que se distinguen de otras por los aspectos reproductivos (Landrace vs. Pietrain), otras no exhiben buena performance reproductiva pero sí de calidad de carcasa (Las de color). Entonces, una buena combinación de estos aspectos (performance reproductiva y calidad de la carcasa) nos da la ventaja de heterosis económica.

Cuando esto se da hay reducción de costos reproductivos, porque aumenta la eficiencia reproductiva por heterosis determinada por la madre (por ej.: Landrace), y los costos de crecimiento también disminuyen porque resultan ser el promedio de los padres para ese carácter.

Se puede observar lo antedicho en la siguiente figura:



Lo completado en máximo grosor sobre el eje de las x es la ganancia (\$) superadora del híbrido sobre la raza A en el aspecto reproducción. En tanto AB (punteado en el eje de y), es el promedio de los padres en el carácter crecimiento, es decir, se reducen más costos que utilizar solamente a A en lo que respecta al crecimiento o gastar más que utilizar sólo a B. Nuevamente demostramos que el gran beneficio está en los aspectos reproductivos y en los de crecimiento se promedia.

La finalidad de construcción de este gráfico reside en unir puntos de igual rentabilidad para obtener curvas de nivel de beneficio económico o ganancia. Lógicamente que por lo explicado anteriormente el modelo no es lineal.

La progenie de A x B obtendrá la media de crecimiento de las dos razas parentales. En tanto la reproductiva es superadora de la raza materna A. El gráfico es patético para visualizar estos efectos: aumenta siempre el reproductivo y en crecimiento es la media. Esto es la *complementariedad*, cuestión que por sí sola justifica el cruzamiento.

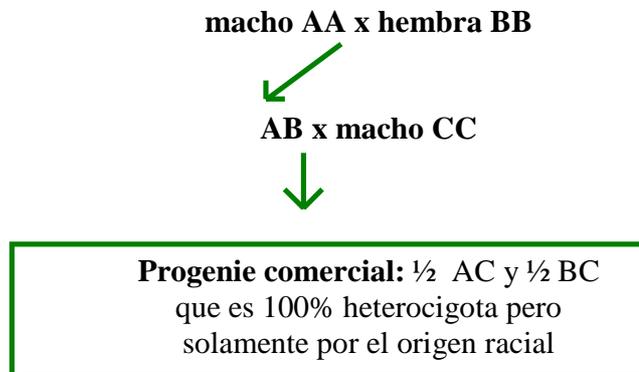
Algunas personas manifiestan que cuando cruzamos una raza pura o línea especializa en aspectos reproductivos x Duroc, agregamos al híbrido rusticidad al aire libre, pero no es cierto porque: ¿Cómo se mide la rusticidad?. Por el contrario, el color es un carácter recesivo, por tal da poca progenie de color cruzado con un blanco, de modo que pocos lechones evitarán quemaduras de sol. Lo que sí podemos decir es que la raza Duroc tiene cierta adaptación especial a vivir a campo, en ocasiones también come más fibra.

No podemos afirmar que tiene resistencia al frío o al calor, porque tampoco se ha medido científicamente, aunque algo se está trabajando en Australia sobre resistencia al calor, a partir de una proteína que se encuentra en animales que resisten las altas temperaturas, esta proteína se llama *chaperona*.

Sistemas de cruzamientos

Hay dos grandes grupos de sistemas de cruzamientos: Discontinuos y continuos.

- a) **Discontinuos:** En cada generación los padres son introducidos al establecimiento, es decir el productor o la empresa no se hace sus propios puros. El más utilizado en este grupo es el cruzamiento *triple o de tres vías*:



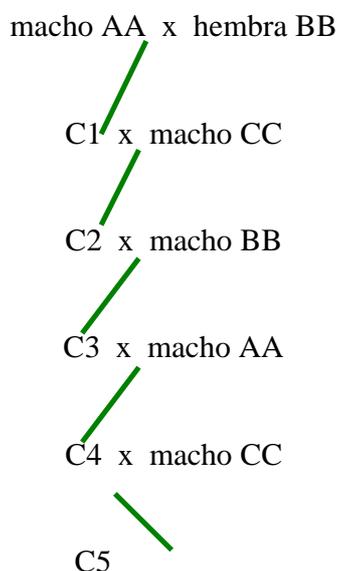
En este cruzamiento se aprovecha el 100% de heterosis materna y también el 100% de posibilidades de heterosis de crecimiento. También se pueden usar los machos híbridos, en algunos casos son mejores que los reproductores puros (Podría usarse CD en vez de CC).

Este sistema hace uso de toda la heterosis económica posible de las razas en danza. Ahora, como desventaja presenta:

1. Hay que comprar todo el tiempo madres AB o tener un pequeño núcleo donde se hagan AA y BB, todo depende del precio de AB en el mercado.

2. Problemas sanitarios por introducir tanto material constantemente a una explotación. Se pueden llevar enfermedades desde los núcleos genéticos a las explotaciones. Igualmente hoy por hoy ningún programa de mejoramiento garantiza que un

2) simple con tres razas



	H. materna (%)	H. directa (%)
C0	0	100
C1	100	100
C2	100	75
C3	75	87,5
C4	87,5	84,375
C5	84,375	84,375

Se estabiliza en 84,375 de heterosis y la directa también está corrida un escalón.

La ventaja es que solamente entran machos y disminuye el riesgo sanitario, además hay más heterosis que en el anterior.

Las desventajas:

1. Hay que excluir a las razas que tienen gen Halotano, de modo que no se pueden aprovechar los beneficios carniceros de las razas de Halotano. El problema es que aumentaría la mortandad de la progenie homocigota resultante de cruzamientos HH x hh ó Hh x Hh. En Europa no se utilizan DJ y Hampshire con gen Halotano. Es por esta razón que este sistema no aprovecha bien el fenómeno de complementariedad. En definitiva debería usarse L, Y y DJ sin reactor positivo a Halotano.

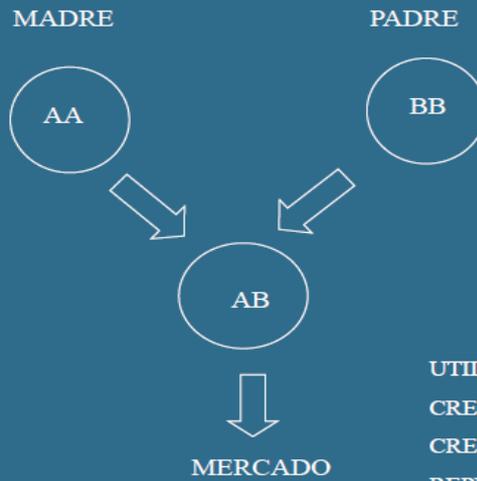
2. Hay que ser muy meticuloso para identificar bien las hembras (C1, C2...Cn) para saber qué padrillo la sirve. En la Argentina este sistema siempre termina en desórdenes.

La gran ventaja de los sistemas continuos es que la hembra se hace en el establecimiento lo que determina su gran adaptabilidad a ese ambiente.

En los discontinuos, que hay que comprar las híbridas, la tendencia es comprar híbridas de poco peso (chicas). En USA se venden hembras de 5 kg., muy baratas, que se transportan de a 1000 en camiones dentro de cajas, igual que los pollos BB. El objetivo es

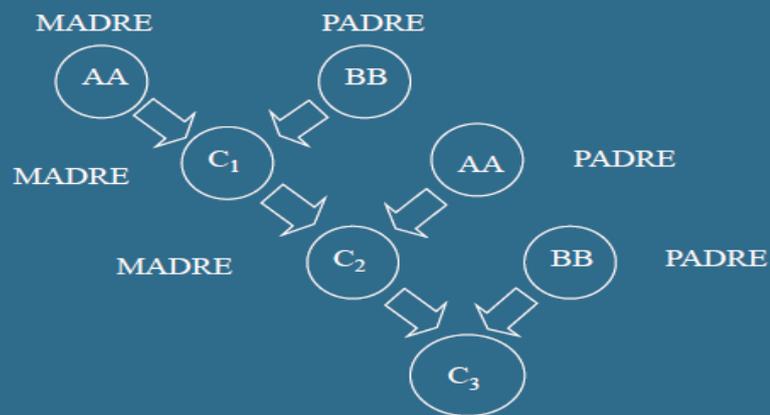
que se adapten tempranamente al nuevo ambiente. Gráficos de cruzamientos continuos y discontinuos.

CRUZAMIENTOS DISCONTINUOS CRUZAMIENTO SIMPLE



UTILIZACION DE LA HETEROSIS:
 CRECIMIENTO (DIRECTA) = 1,00
 CRECIMIENTO (MATERNA) = 0,00
 REPRODUCCION = 0,00

CRUZAMIENTOS DISCONTINUOS “CRISS - CROSS”

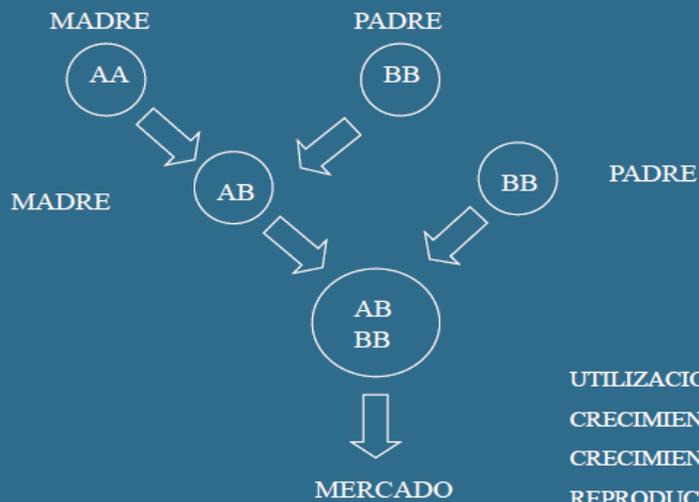


UTILIZACION DE LA HETEROSIS:

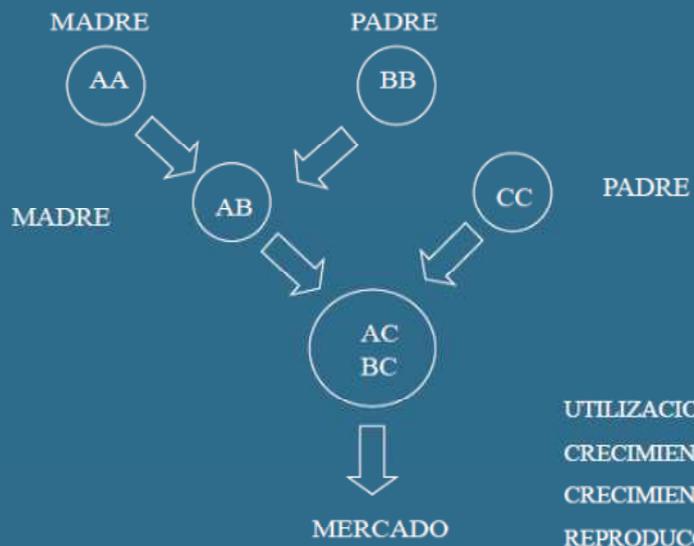
$$H_t = 1 - (-1/2)^t / (1 + 1/2)$$

$$H_t \rightarrow \infty = 2/3 H_{A,B}$$

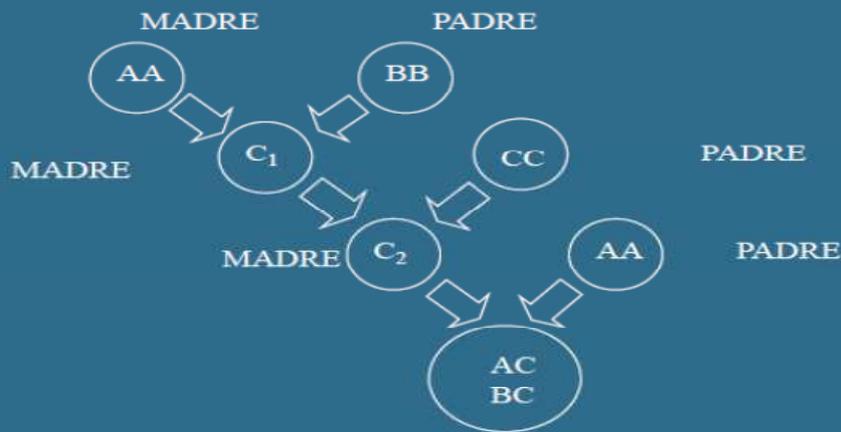
CRUZAMIENTOS DISCONTINUOS CRUZAMIENTO EN RETORNO



CRUZAMIENTOS DISCONTINUOS CRUZAMIENTO TRIPLE



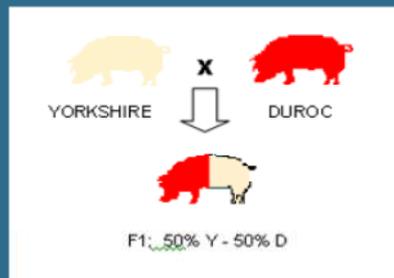
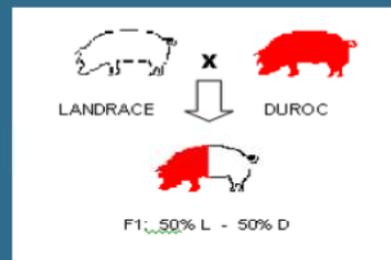
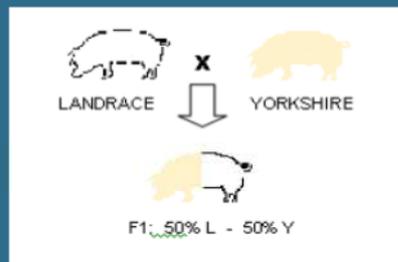
CRUZAMIENTOS DISCONTINUOS ROTATIVO CON TRES RAZAS



UTILIZACION DE LA HETEROSIS:

$$H_1 \rightarrow \infty = 6/7 (H_{A,B}, H_{A,C}, H_{B,C})$$

Cachorras híbridas



Fuente: M. Lloveras; Pedro Goenaga, 2009 "Producción porcina a campo. Un modelo alternativo y sustentable". (Pág. 137)

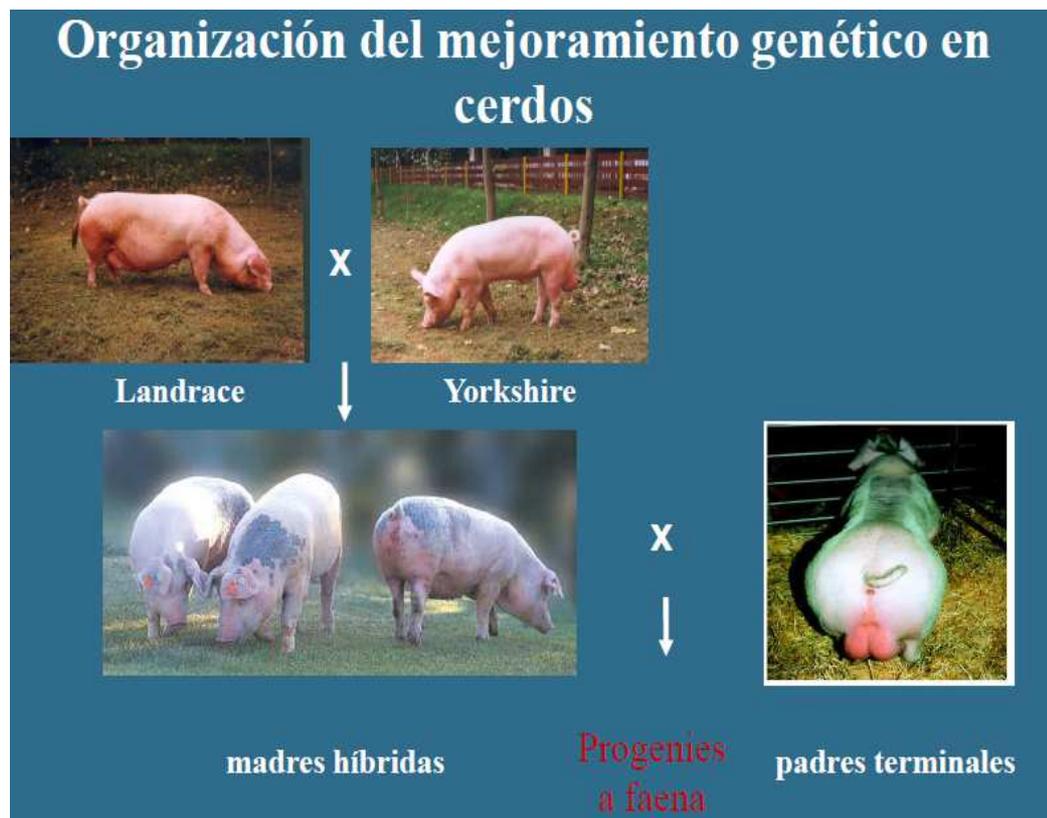
Organización del mejoramiento en la actualidad



El objetivo es concentrar el trabajo de selección a un núcleo y de allí transferir al productor el material bajo una organización piramidal.



Si sólo circulan machos y hembras puras el intervalo genético alcanzaría más años de selección. Cuando circulan machos del núcleo a la granja comercial el intervalo genético se acorta. Esta estructura se ha impuesto en todos lados (públicos y privados). Ahora ¿Cuál es la finalidad? : Controlar el valor genético de machos en los núcleos y de machos y hembras en los multiplicadores. En la siguiente fotografía la organización actual del mejoramiento genético para obtención de madres híbridas (F1)



Reflexión final

Los expertos mundiales en producción porcina mencionan que para alimentar a la humanidad en el actual milenio con proteínas de calidad, la producción de cerdos se radicará en USA, Brasil y Argentina como lugares estratégicos. También incluyen a Hungría. El tema es saber cuándo nos va a tocar, no hay dudas que es un problema de políticas. La Argentina no tendría problemas en empezar ya, porque en situación de hembras híbridas está bien y en machos hay mucha oferta porque varias empresas en el país se dedican a esto, chicas e internacionales.

En cuanto a los avances realizados en el campo de la biotecnología sobre genes que pueden afectar los caracteres reproductivos y conferir resistencia a enfermedades se puede afirmar que la genética es una ciencia muy dinámica en cuanto a incorporación de nuevas tecnologías, aspecto que admite vislumbrar escenarios futuros en esta producción animal distintiva.

El perfeccionamiento de las actuales técnicas de mejoramiento genético por sí solo, conducirán a un creciente progreso, si a ello se le adiciona la biotecnología y su correcta aplicación. Los cambios quizás, permitirán mejorar los niveles actuales para varios

caracteres relacionados a la productividad y a la eficiencia en el uso del alimento, en los próximos años.

Lo más probable es que el mejoramiento se centre en cerdos producidos por hembra al año, en eficiencia de conversión de alimento y en velocidad de crecimiento. También con las nuevas tecnologías de selección se podrán mejorar caracteres como cantidad de pezones, capacidad lechera, habilidad materna, calidad de aplomos, calidad de carne y defectos genéticos. Siempre en el sentido que maximice la rentabilidad global del negocio y las condiciones éticas de aplicar ciencia para satisfacer necesidades reales de la población.

En cuanto a tecnologías ha sido un gran avance en los programas de mejoramiento genético el uso de BLUP (Best linear unbiased prediction), RTU (Real time ultrasound) y FIRE (Feed intake recording equipment), que permiten obtener una mayor precisión en las evaluaciones de los animales en testaje.

En otro orden de cosas, la biotecnología aplicada al mejoramiento genético ofrece enormes proyecciones en el campo genético como así también en la reproducción animal.

En este sentido la inseminación artificial está ampliamente difundida y usada en las piaras de casi todo el mundo, la transferencia de embriones también se practica aunque aún es de alto costo y existen técnicas que admiten determinar sexo y clonar embriones. También se produce somatotrofina porcina recombinante, por fermentación en bacterias (*E. coli*) genéticamente habilitadas para producir hormona del crecimiento porcina (pST).

El mapeo genético es otra técnica que permite conocer genes del cerdo. Con el tiempo se podrán localizar más genes condicionantes sobre un carácter y evaluar la magnitud de su efecto individual. La selección asistida con marcadores genéticos constituye otra técnica para identificar genes. En este sentido la introgresión nos habilita para recuperar la raza inicial lo antes posible al practicar retrocruzas conservando la porción de cromosoma conocido.

En cuanto a cerdos transgénicos, que son aquellos a los que se les ha modificado su información genética con algún objetivo específico relacionado a resultados favorables para la producción, es un tema que en mi caso particular requiere de profundizar mucho todavía y que considero de gran debate en la ciencia. Igualmente la idea de estos cerdos transgénicos es obtener líneas genéticas que posean alta resistencia a enfermedades generales y específicas, mejorar el comportamiento en desarrollo y engorde con mayor ganancia diaria de peso y alta eficiencia de conversión alimenticia, y mejorar la calidad de la canal.

Para ampliar, en cuanto a resistencia a enfermedades, se puede actualmente utilizar en transgénesis para *E. coli* cepa K 88, un gen porcino resistente a diarreas. Gen que ya se ha mapeado, localizado y clonado. Otro en estudio resiste a la *E. coli* cepa F 18, aunque cuando aparecen cepas nuevas los cerdos nuevamente son susceptibles.

En cuanto a respuestas inmunológicas, que responden a herencias de genes polimórficos, se puede mencionar el locus de multiincompatibilidad SLA, que condiciona el rechazo a trasplantes de órganos. Es un locus muy complejo, da 40 protipos que determinan todo tipo de rechazos a injertos. Un alelo de SLA que genera resistencia a *Trichinella spiralis* está en estudio para su detección y clonación.

Respecto a genes que afectan la reproducción, se ha mapeado el cromosoma 8 cuya variación genotípica está en 35% más de ovulación sobre los parámetros normales. El gen ESR (Estrogen receptor) cuyo locus ha sido identificado pero aún no informado en la

raza Mei Shan, puede producir 1,2 más lechones, con alta frecuencia de variación genotípica individual: 0,4 y fenotípica: 0,6.

Referencias bibliográficas

Cardén, A. 1999. Curso de mejoramiento genético de la carrera maestría en producción y salud porcina de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC.

1-The Genetics of the pig. Edited by M.F. Rothschild & Ruvinsky. CAB 1998 (622 pág).

2-NPPC (1995). Genetic Evaluation. Terminal Line Program Results. National Pork Producers Council. (311 pág).

3- Memento de l'éleveur de porc. Institute Technique du Porc-149 rue de Bercy-París (567 pág).

4- M.R. Lloveras, P.R. Goenaga, M. Irurueta, F. Carduza, G. Grigioni, P.T. García, A. Améndola.

Meat quality traits of commercial hybrid pigs in Argentina. Meat Science, Volume 79, Issue 3, July 2008, Pages 458-462

5- M.S. Honeyman. Sustainability issues of U:S: swine production. J Anim Sci 1996. Volume 74, Pages 1410-1417

6- National Farmers Union (Canadá) The Farm Crisis, Bigger Farms, and the Myths of "Competition" and "Efficiency" National office, 2717 Wentz Ave, Saskatoon, Sask. (31 pág)