



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Título:

**ACTUALIZACIÓN SOBRE MEJORAMIENTO GENÉTICO
PORCINO EN EL MUNDO Y EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

ALUMNOS

**Ghio, Mauro
Lucero de la Sota, Marcos Nazareno**

DIRECTOR

**Ing. Agr. Rodolfo Oscar Braun. Dr. en Ciencias Agropecuarias (UNC); Magister en
Salud y Producción Porcina (UNCR-UBA); Master en Docencia Universitaria
(Universidad de Barcelona)**

**CARRERA INGENIERIA AGRONÓMICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA – UNLPam**

2014

RESUMEN

El escenario en los próximos años respecto a la población mundial tendrá un importante incremento en millones de personas, lo cual, se expandirá en los países en desarrollo. La urbanización continuará a un ritmo acelerado y aproximadamente el 70 % de la población mundial será no rural. El nivel de ingresos será varias veces superior al actual. Para alimentar a esta población más numerosa, más urbana y más rica, la producción anual de carne debe aumentar en millones de toneladas de las cuales la participación mundial de carne de cerdo, que en el total de carnes representa el mayor porcentaje, lo seguirá siendo por ser una de las más eficientes. Esquemas de selección de reproductores basados en el testaje y evaluación genética para caracteres productivos de importancia económica, conjuntamente con la capacidad reproductiva de la especie, han posibilitado un aumento significativo del potencial productivo en la mayor parte de los programas de selección e hibridación de la especie porcina en la actualidad. La correcta elección de las razas/líneas a ser utilizadas en programas de cruzamiento es clave para aprovechar los efectos de complementariedad y heterosis derivados de las diferencias genéticas entre poblaciones. Las múltiples combinaciones entre razas o líneas genéticas permiten diferentes alternativas productivas, dependiendo se privilegie la cantidad o la calidad dirigida a mercados diferenciados y que es cada vez más demandada por los consumidores. Los recientes avances en genética molecular han permitido la detección de genes con efectos directos sobre el contenido de magro y los caracteres de calidad. La oportunidad económica de su uso debe establecerse para cada sistema productivo y para cada mercado potencial.

Para el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos: mencionar los parámetros genéticos de la población de importancia económica – zootécnica, detallar los métodos de información genealógica mediante la utilización de índices de selección, discutir sobre los genes de efecto mayor sobre calidad y composición de la carne y mencionar los cruzamientos de importancia comercial en la actualidad. Se realizó una revisión bibliográfica del tema en libros, revistas de investigación, divulgación y de artículos científicos relacionados, con el fin de actualizar los contenidos disciplinares del mejoramiento genético porcino. La redacción del documento se centró en la actualidad de la mejora genética y en transmitir los contenidos relevantes del mejoramiento genético porcino a nivel mundial y nacional.

De esto se desprende que lo más probable sea 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 humana. En cuanto a tecnologías ha sido un gran avance en los programas de mejoramiento genético el uso de Selección Genómica y BLUP, entre otros; que permiten obtener una mayor precisión en las evaluaciones de los animales en testaje. 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.

Palabras claves: porcinos – mejoramiento genético – métodos de selección – objetivos de mejora de importancia económica zootécnica.

Índice

Introducción	3
Avances en investigación de mejoramiento genético del cerdo.....	5
Razas de cerdos.....	8
Parámetros de calidad.....	14
Mediciones fenotípicas.....	15
Best Linear Unbiased Prediction (BLUP).....	16
Pruebas de ADN del cerdo.....	17
Nuevo enfoque híbrido.....	18
Objetivos	21
Materiales y métodos	21
Resultados y Discusión de la Revisión	22
Importancia de la herencia monogénica.....	27
Variación de la calidad de la carne en las diferentes razas o genotipos.....	36
Otros genes de importancia en la producción porcina.....	37
Elección de genotipos apropiados para producir carne de buena calidad.....	41
Objetivos y criterios de selección.....	42
¿Qué es la selección?.....	48
Reflexiones sobre respuesta a la selección.....	51
Biología evolutiva.....	52
Selección genómica en porcinos y ganado lechero.....	59
Cruzamientos.....	63
Sistemas de cruzamientos.....	67
Organización del mejoramiento en la actualidad.....	73
Conclusiones	74
Agradecimiento	77
Referencias bibliográficas	77

Introducción

La producción animal es una de las actividades más vinculadas al hombre y al medio ambiente, siendo la especie porcina la más importante productora de carne en el mundo. Por esta razón resulta relevante considerar las formas en que esta producción se lleva a cabo, así como las implicancias sociales y económicas que de ella derivan en nuestra región semiárida pampeana. Mediante la información que nos proporciona el CIAP (Centro de Información de Actividades Porcinas) (Suárez, *et al.*, 2013) se puede definir el sistema de explotación más conveniente para cada circunstancia en particular.

El alto valor de la tierra, así como la fuerte competencia que tiene el empleo del recurso suelo en la mayoría de los establecimientos de la región pampeana, sumado a la baja acentuada de los precios de la totalidad de los productos agropecuarios, alienta la búsqueda y adopción de actividades productivas más intensivas, diversificando la producción para dar mayor incorporación de capital y mano de obra por unidad de superficie. En este contexto, la producción porcina en nuestra región se presenta como una de las mejores alternativas para transformar estos establecimientos en empresas sustentables, aumentando los ingresos del productor, mejorando en consecuencia, la calidad de vida y evitando su éxodo hacia las zonas urbanas (Braun y Cervellini, 2010). La ganadería, en una asociación equilibrada con la agricultura, puede dar lugar a sistemas alternativos de producción eficientes en el uso de la energía solar e independientes del empleo de energía fósil extra. La transformación de los granos en carne debe destinarse a las especies de alta eficiencia en la transformación – cerdos - aves de postura y parrilleros, en consecuencia, es imprescindible aumentar el consumo de carnes substitutas y enviar nuestras excelentes carnes vacunas al mercado internacional. Asimismo, promover el consumo de aves y cerdo en el mercado nacional a un precio razonable. Los argentinos consumen hoy 32 kg de aves y 8 kg de cerdo por habitante/año. Este consumo hay que incrementarlo, y debemos ser exportadores de estas carnes, por ser un país granario. La transformación genera valor agregado y mano de obra y en consecuencia, empleo. Argentina prácticamente no transforma granos en carnes, lo hace en muy baja medida. Transformar granos en carnes, en especial de cerdo y aviar y en productos lácteos, no requiere ninguna técnica que no se conozca y significa, incrementar el empleo en la Argentina. Si bien la carne vacuna está marcando una pérdida de porcentaje de participación general de las carnes, la aparición de nuevos casos del mal de la vaca loca

condiciona aún más su futuro y el aumento de la demanda desde países libres de esta enfermedad, como es La Argentina. Cabe preguntarse hacia dónde enfocar la producción: 1) aprovechar nuestra experiencia vacuna y exportar, y por otro lado, 2) ir a sistemas productivos de sustitución por otras carnes en el consumo interno. La carne aviar venía demostrando un aumento progresivo muy importante de participación en el consumo mundial, pero puede verse disminuido su crecimiento debido a la influenza aviar que afecta a gran parte del mundo. También estamos favorecidos como país libre hasta el momento. En porcinos es imprescindible disminuir las importaciones, y tratar que los chacinados no tengan participación de otras carnes en su elaboración - toro y vaca de conserva - y otros productos químicos (Braun y Cervellini, 2010). Hay que recategorizar los productos de cerdo y conseguir más consumo de carne fresca. Argentina produce carne vacuna de excelente calidad, pero, frente a la demanda mundial deberá resignar parte del consumo interno para exportar. Este espacio indiscutiblemente tendrá una sustitución de 10 a 15 kg/hab/año de carne vacuna por carnes substitutas (cerdos y aves).

Cuando se plantea las posibilidades de crecimiento de un sector (porcino) siempre deben tenerse en cuenta las amenazas y debilidades. Por un lado es imprescindible incorporar genética, aspecto poco sencillo para los niveles de inversión en esta temática con que cuenta el país, formación educativa adecuada sobre esta particular producción, programas sanitarios y niveles de bioseguridad.

A lo largo de los últimos treinta años se han registrado profundos cambios en la producción, industrialización, comercio y consumo de las diferentes carnes. También en las producciones agrícolas conexas que afectan el mercado de alimentos del que las carnes forman parte. Lo más trascendente ha sido la sustitución de carne bovina por otras carnes, en especial pollos parrilleros, en menor escala cerdos y conejos. Si bien la sustitución fue trascendente, el consumo de carne por hab/año no ha tenido cambios muy significativos. Es imperativo reconocer que estos cambios ocurrieron en un contexto a partir de la incorporación al mercado de los insumos para la producción de balanceados, a consecuencia del uso cada vez más importante del subproducto de la industria aceitera, en especial harina de soja, girasol y otras (Brunori, *et al.*, 2009).

No obstante, existen en nuestro país y también en el mundo nuevos enfoques que gobiernan la demanda y que en cierto modo afectan la producción. Las preocupaciones de los consumidores del mercado externo e interno en el campo de la salud, el bienestar animal y el impacto ambiental son objeto de nuevas regulaciones para los sectores productivos en

algunos países y ponen nuevas condiciones al comercio internacional. El etiquetado y la trazabilidad son una parte de las respuestas a estas exigencias de los consumidores. Otras tienen que ver en materia de servicios, incorporados a los alimentos, tales como pre-cocción, empaque. Estas innovaciones son el resultado de la investigación y el desarrollo para ajustar la oferta a la preferencia de determinados consumidores (Iglesias y Ghezman, 2013).

En este sentido la Argentina y en especial nuestra provincia debe agendar tanto en la producción como en la industrialización, estos temas, orientando sus sistemas productivos a las demandas de mercados cada vez más exigentes.

Las carnes porcinas argentinas, como así también las otras carnes cuentan con ventajas comparativas que pueden ser valoradas por los mercados de alto poder adquisitivo. Las bondades nutricionales de la producción porcina en estas latitudes, compatibles con altos estándares de bienestar animal e impacto ambiental positivo, la homogeneidad genética de las razas carniceras dominantes, aspecto necesario para la consistencia exigida por los consumidores, son valiosos atributos que han sido malversados por falta de gestión. Transformar esas ventajas comparativas en competitivas no es tarea de emprendimientos aislados. Requiere la suma de esfuerzos en investigación, capacitación, comercialización, políticas de estado y cambio de actitud de los protagonistas del sector.

El sector porcino está tomando cada vez mayor protagonismo en el mercado de la carne nacional y mundial y es fundamental acompañar este crecimiento con herramientas que le permitan un producto de alta calidad, desde el campo a la góndola, eficientemente y con la protección del medio ambiente. Las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe concentran la producción porcina nacional, entre las tres suman el 77 % del stock nacional, luego estaría nuestra provincia de La Pampa. Córdoba, que con el 28 % del stock nacional se constituye en la segunda provincia con más cantidad de cerdos del país, genera a través de las actividades relacionadas a este sector importantes beneficios económicos, y también sociales como la generación de empleo y el sostenimiento de familias rurales, aunque aún está lejos del desarrollo industrial de carnes que poseen las provincias de Bs. As. y Santa Fé (Brunori, *et al.*, 2009).

Avances en investigación de mejoramiento genético del cerdo

El nivel genético de los animales de las granjas porcícolas es un factor de producción fundamental que condiciona la eficiencia técnica y económica de la

explotación, incide en las características cuantitativas de las canales (contenido de tejido magro) y en los caracteres físico-químicos, tecnológicos y sensoriales de la carne (atributos de calidad) (Cardén, 1999).

Cardén (2000) señala que la correcta elección de las razas/líneas a ser utilizadas en programas de cruzamiento es clave para aprovechar los efectos de complementariedad y heterosis derivados de las diferencias genéticas entre poblaciones. Las múltiples combinaciones entre razas o líneas genéticas permiten diferentes alternativas productivas, dependiendo se privilegie la cantidad (producción industrial) o la calidad dirigida a mercados diferenciados y que es cada vez más demandada por los consumidores.

La implementación de esquemas de selección de reproductores basados en el testaje y evaluación genética de los animales para caracteres productivos de importancia económica, conjuntamente con la elevada capacidad reproductiva de la especie, ha hecho posible un aumento muy significativo del potencial productivo en la mayor parte de los esquemas de selección e hibridación de esta especie animal. Sin embargo, y a pesar de estos avances, las características ligadas a la aptitud reproductiva o de adaptación no han seguido una tendencia tan favorable y se ha observado un claro retroceso en ciertas propiedades tecnológicas u organolépticas deseables de la carne en algunas razas porcinas (Goenaga y Lloveras, 2007).

Los recientes avances en genética molecular han permitido la detección de genes con efectos directos sobre el contenido de magro y los caracteres de calidad. Lamentablemente, el gen de halotano se ha sobreutilizado en Argentina por sus efectos deseables sobre el magro pero, resulta francamente perjudicial sobre otros atributos de calidad (Plastow, *et al.*, 2005).

Otros genes están siendo evaluados. Tal es el caso del gen de la calpastatina con efectos beneficiosos sobre la ternura y jugosidad, y recientemente el gen IFG2 cuyo efecto sobre el contenido de magro parece ser mayor que el gen de halotano pero a diferencia de éste no produciría efectos negativos sobre los caracteres de calidad de la carne. La oportunidad económica de su uso (inclusión o eliminación) debe establecerse para cada sistema productivo y para cada mercado potencial. Debe considerarse la potencial pérdida de variabilidad genética que la selección específica para estos marcadores pueda implicar (Lloveras y Goenaga, 2006).

Originalmente, la producción de cerdos era destinada para la obtención de grasa. La selección, se basaba entonces, en la velocidad de aumento de peso, ya que se buscaba

obtener animales de mayor tamaño y proporción, con gran capacidad de engorde. Luego de la primera guerra mundial, la situación económica obligo a una máxima utilización de los alimentos, por lo cual comenzó a tomar importancia la selección en conversión alimenticia (Brunori, *et al.*, 2009).

Con el comienzo de la producción de aceites vegetales, se fue dejando de lado la producción de grasa de cerdo. Posteriormente, debido a las exigencias de la población para obtener su principal nutriente: proteína animal, comenzó a tener más importancia la producción de carne, surgiendo el cerdo " tipo carne": animal con buena conformación muscular, y con capacidad de alcanzar el peso de terminación de mercado, sin exceso de grasa. De esta manera, comenzó la clasificación de las canales: el producto debía responder a la demanda de producir animales con mayor tasa de crecimiento, menor espesor de grasa dorsal y mayor ECA en tejido magro. La obtención de una res cuya conformación y características organolépticas respondiera a las demandas del mercado, fue posible gracias al mejoramiento genético (Ávalos y Smith, 1987; Lloveras y Goenaga, 2009).

Aparte de la mejora en la producción de carne, comenzó a tomar importancia la prolificidad del reproductor. Este debía dar mayor número de lechones, criarlos y destetarlos bien; por lo tanto la fecundidad se comenzó a tomar en cuenta en la selección de los cerdos (Lloveras y Goenaga, 2009).

En Argentina, actualmente el consumidor ejerce un papel cada vez más preponderante en cuanto a las exigencias de la calidad de las carnes. Además, ante la situación de competitividad actual, que el mercado mundial impone, se hace imprescindible la obtención de un producto de alta calidad y la optimización de la producción con la disminución de los costos (Braun y Cervellini, 2010).

En Argentina el sistema de tipificación, en base al porcentaje de magro aplicado en 1995, otorga al productor diferencias en el precio de su producto, de acuerdo a la calidad del mismo, fomentando la utilización de genotipos mejorados, de buena conformación, que respondan a las demandas actuales (Manual de Procedimiento, INTA, 2009).

Es entonces, que la evolución en las exigencias del mercado, determina una gran importancia en el mejoramiento genético de los cerdos, una herramienta más, para mejorar la producción.

En lo que respecta a nuestra situación, en la Argentina, el consumo de carne de cerdo, está dirigida principalmente, a la elaboración de fiambres y chacinados, y sólo una pequeña parte se consume como carne fresca. Esto se debe a que el consumidor, carece de

información sobre las cualidades, calidad y usos de esta carne, además, de la inexistencia de una canal eficiente, en el que se puedan revalorizar todos sus cortes; también hay que tener en cuenta que en la producción intensiva, se le ha dado más importancia a la productividad y eficiencia, dejando de lado la calidad intrínseca de la carne (determinada por sus características organolépticas); un tema muy importante, actualmente, para el comercio de la misma (Iglesias y Ghezman, 2013).

Para que la carne de cerdo tenga un espacio cada vez mayor, en el consumo habitual de todos los días, ya sea de chacinados o bien de carne fresca, principalmente, hay que hacer hincapié, en el mejoramiento genético de la calidad intrínseca de la carne: ternura, jugosidad y palatabilidad, características que determinan la aceptación o no por el consumidor (Brewer *et al.*, 2002; Lloveras y Goenaga, 2009).

Por ejemplo, introduciendo genética de animales que brinden buenas características organolépticas en todos sus cortes, y descartando aquellos que poseen ciertas desventajas, que perjudican la calidad de la canal.

Por ende, hay que priorizar, en la selección genética, aquellos animales que garanticen, con sus características, mejoras en la calidad cárnica, para poder llegar, de una mejor manera, al consumidor, y también, poder competir en el mercado externo.

Lloveras y Goenaga (2006) en el EEA INTA Pergamino, han estudiado el mejoramiento genético, aplicado a la calidad de la carne, y han obtenido ciertas conclusiones, en concordancia, con otros laboratorios del mundo:

- La variación genética determina la calidad de la carne.
- La raza Duroc tiene atributos superiores, tanto para consumo fresco como industrial.
- El gen del halotano, produce una pérdida en la calidad de la canal, desvalorizando el producto.

Razas de cerdos

Desde el comienzo de la producción, los cerdos, han sufrido modificaciones de sus características, creándose diferentes razas, a fin de satisfacer las necesidades en el consumo de su carne.

De acuerdo a Lloveras, et al., (2008) se reconocen alrededor de 100 razas domesticas. En su mayor parte, los ejemplares comerciales, provienen de una mezcla genética, cuyo valor es atribuido a las mejoras de selección y genéticas más que a sus propias características; y que cada región de producción tiene su raza y en Argentina los animales cruce que se utilizan proviene de las 6 razas existentes: Duroc, Hampshire, Landrace, Pietrain, Yorkshire y Spotted Poland.

Señala Cardén (1999) que las razas se clasifican en base a:

- Origen geográfico
- Características fenotípicas
- Aptitud productiva

Origen geográfico

Las clasifica en:

Americanas: Duroc Jersey, Hampshire, Poland China, Spotted Poland, Chester White.

Europeas: Large White(Yorkshire), Landrace, Berkshire, Pietrain.

Chinas: Meishan, Jinhua, Jiaxing.

Características fenotípicas

En la clasificación fenotípica se toma en cuenta:

Tipo de orejas: Se observa el tamaño y la posición que adquieren, respecto al eje mayor de la cabeza:

Asiáticas: son pequeñas o medianas y erectas

Ibéricas: medianas y caídas

Celtas: son grandes y caídas

Tipo de perfil fronto nasal:

Rectilíneo- concavilíneo- subconcavilíneo – ultraconcavilíneo

El perfil se va acentuando con la edad

Color de pelo:

Puede ser totalmente blanco (Landrace y Yorkshire), negro (Large Black),

Overo negro (Spotted Poland y Pietrain), colorado(Duroc) o fajado (Hampshire) entre los más comunes.

Tipo de perfil dorso lumbar:

Rectilíneo o convexilíneo

Aptitud productiva

Con respecto a la aptitud, existen razas:

Maternas: se destacan por su prolificidad y producción de leche (Landrace y Yorkshire)

Paternas: se caracterizan por su rápido crecimiento y/ o desarrollo de masas musculares (Duroc, Pietrain, Hampshire)

Razas Porcinas (Cardén, 2000; Brunori, *et al.*, 2009)

Landrace

De origen europeo, muy versátil, usada como línea pura, que dependiendo de los planes de mejoramiento, presenta características maternas o paternas, formándose diferentes líneas dentro de la raza. En 1960, el INTA, introdujo los primeros Landrace a nuestro país.

Sus características fenotípicas son (fotografía 1): perfil rectilíneo, orejas celtas, piel rosada, de pelo y pezuñas blancas y perfil dorso lumbar rectilíneo.

El Landrace Danés es el originario; principalmente, es una raza materna, de temperamento tranquilo, con gran número de pezones y de alta producción de leche. Muy buena prolificidad, aunque algo menor a la del Yorkshire.

El Landrace Belga, es básicamente una línea paterna, con muy buena musculatura; la calidad de la canal es alta y son seleccionados en base a la velocidad de crecimiento y % de tejido magro. Presentan reses PSE (pálidas, blandas y exudativas), producido por el síndrome del estrés porcino.

La cruce entre un Landrace y Yorkshire, origina el Landrace Americano, que forma el pie de madre de la mayoría de criaderos. Esta raza, está adaptada a sistemas de confinamiento y sus cruces con razas pigmentadas pueden servir en sistemas semi-intensivos.



Fotografía 1: hembra Landrace

Yorkshire (Large White)

Raza europea, introducida en Argentina en el año 1930. Presenta como características (fotografía 2), pelaje blanco, de piel rosada; un perfil concavilíneo, orejas asiáticas, dorso-lomo convexilíneo o casi recto en algunas líneas. Animal de tamaño adulto mediano a grande, valorado por sus características maternas, utilizado en los cruzamientos como línea materna.

Es una raza con excelentes características en prolificidad, maternales, capacidad lechera, y productividad; presentan además una mayor velocidad de crecimiento e ICA (Índice de Conversión Alimenticia).

En cuanto a la calidad de las reses, son superiores al Landrace, por su ausencia de carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas).

Son muy comunes las hembras Yorkshire-Landrace, por ser mejores en cuanto a la prolificidad y producción de leche. También se pueden usar padrillos terminadores en criaderos intensivos. Se los puede cruzar, además, con razas pigmentadas, originando hembras más rústicas usadas en los criaderos semi-intensivos.



Fotografía 2: macho Yorkshire

Spotted Poland

Proviene de la Poland China, de origen americano. Es una raza overa negra, de orejas ibéricas, perfil subconcauilíneo y dorso- lomo ligeramente curvado; el 50% de su cuerpo es blanco, con manchas negras (fotografía 3). Posee un rápido crecimiento, buena conversión, con una estructura ósea adecuada, aunque débil de aplomos, de aptitud lechera y rústica, que ofrece reses bien musculosas, pudiendo ser considerado como una raza mixta. Se emplea en cruzamientos, como raza paterna en sistemas extensivos o en semi-intensivos. Sus cruza con Duroc, generan una hembra rustica, de color marrón con pintitas negras, con buenas características maternas, que funciona muy bien en sistemas extensivos.



Fotografía 3: hembra Spotted Poland

Duroc Jersey

De origen americano, ingresada en nuestro país en 1907. Son animales de perfil subconcauilíneo, orejas ibéricas, de pelaje marrón a colorado, con perfil dorso lumbar convexilíneo (fotografía 4).

Se destaca por su rápido crecimiento, y por la calidad de su carne, debido a que es muy magro. Es una raza rustica, adaptada a sistemas extensivos, o en cruzamientos finales, en los intensivos. Se lo emplea como línea paterna y poco como materna, por las diferencias que existen, en cuanto a características maternas, con la Yorkshire y Landrace.



Fotografía 4: macho Duroc Yersey

Hampshire

Los primeros cerdos provenían de Inglaterra, desde donde fueron importados por EEUU, formando, entonces, una raza americana. En nuestro país ingresaron en 1918. Posee perfil rectilíneo, orejas asiáticas, de color negro, con franja blanca en miembros anteriores, y desde la cruz hasta las pezuñas, con perfil dorso lumbar algo arqueado (fotografía 5). Se caracteriza por su aptitud cárnica, con reses de buena calidad y libres de grasa. Se la utiliza tanto en sistemas intensivos, para generar padrillos terminadores, con otras razas magras, como en extensivos, por su productividad y rusticidad. Se emplea como padre, en cruzamientos, para mejorar la calidad de la canal.



Fotografía 5: macho Hampshire

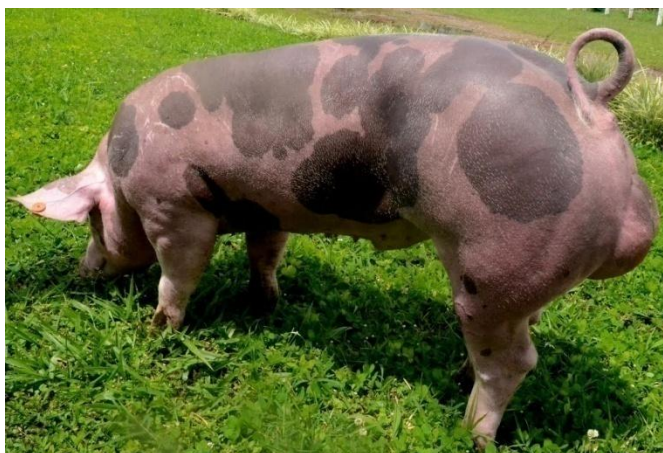
Pietrain

Originario de Bélgica, europea, introducida en Argentina en la década del 80. Son cerdos de perfil concavilíneo, orejas asiáticas, pelaje overo negro y perfil dorso lumbar recto (fotografía 6). Animales de características paternas, seleccionados por la calidad de su

canal. En cuanto a la velocidad de crecimiento, ICA, y reproducción, presentan bajos niveles. Por otro lado, otorgan el mayor % de piezas nobles, siendo animales muy magros. Por lo general, se utilizan los machos, como padrillos terminadores, en criaderos intensivos, puros o híbridos. Es la raza que presenta el mayor % de carnes PSE, causado por el gen del halotano, que tiene un nivel natural del 80% en la población total.

Sus principales virtudes cárnicas son:

- Calidad de la canal (por su alto contenido en tejido magro y bajo en grasa).
- Porcentaje de piezas nobles óptimo.
- Respuesta positiva ante el cruzamiento con otras razas (utilizada para mejorar la calidad de la carne).



Fotografía 6: macho Petrain

Parámetros de calidad

De acuerdo a Cardén, (2000); Lloveras y Goenaga, (2009) los caracteres, que definen objetivamente la calidad de la carne, son los siguientes:

- pH: inmediatamente postmortem y a las 24 hs posteriores.
- Color: medido con aparatos
- Solubilidad de las proteínas
- Capacidad de retención de agua
- Contenido intramuscular de lípidos
- Potencial glucolítico (cantidad de glucógeno muscular)
- Terneza, medida, también, con aparatos (cuchillas Warner-Bratzler)

Existen, además, otras características organolépticas, que son determinadas por catadores experimentados (evaluación más subjetiva): aroma, sabor, consistencia, jugosidad y ternura.

Dentro de los caracteres objetivos, existe un parámetro que mide la relación, en porcentajes, del tipo y número de fibras musculares con capacidad oxidativa y glucolítica, que está condicionado por factores genéticos (genes mayores). El cerdo, se compone, por tres tipos de fibras: Tipo 1: oxidativas, tipo 2A: oxidativas glucolíticas y tipo 2B: glucolíticas (Braun y Cervellini, 2010).

Las fibras tipo 1, se caracterizan por una contracción lenta y metabolismo aerobio, y el tipo 2A presenta una contracción rápida, aeróbica, con alto contenido de glucógeno y metabolismo rápido; éstas, favorecen una buena caída del pH, y óptimo color rojizo de la carne. Las fibras tipo 2B, de contracción rápida anaeróbica, con alta cantidad de glucógeno, y metabolismo lento, terminan en una deficiencia de glucógeno muscular. Los tipos de fibras, pueden ser determinadas, por pruebas histoquímicas (Braun, 2012).

Los cerdos que han sido seleccionados, en base a un alto contenido de magro, y rápido crecimiento, demuestran un deterioro en la calidad de su carne; estos poseen fibras más glicolíticas que los cerdos rústicos, y el crecimiento muscular, tiene una correlación positiva, con el número de fibras musculares (Braun, 2012).

Los dos genes mayores: receptor de rianodina (RYR1 y Halotano), y el gen RN- (Rendimiento Napole), no intervienen en el número total de fibras, pero si en el tipo y tamaño de fibra. El gen RYR1 aumenta el porcentaje de fibras glicolíticas, encargadas de la contracción muscular, terminando en una disminución del pH y presencia de carnes PSE. En cambio, el gen RN-, incrementa las fibras oxido- glicolíticas, disminuyendo el diámetro de las glucolíticas, produciendo un metabolismo más oxidativo y menos glucolítico (Goenaga y Lloveras, 2007).

Mediciones fenotípicas

De acuerdo a Cardén (2000) la piedra angular de cualquier programa de cría de cerdos es la calidad de mediciones fenotípicas, sobre el animal vivo (fotografía 7).



Fotografía 7: Características exteriores de un macho Yorkshire

Hace veinticinco años las empresas ganaderas estaban usando la teoría de la indexación de multi-rasgo en sus últimas herramientas para impulsar la mejora genética de las líneas de cerdos de cría. Estos animales se midieron individualmente para rasgos diferentes. Las mediciones físicas grabadas para estas características se introdujeron en un índice y el mérito de los animales que se están probando se expresa como un número único.

Esta cifra permitiría a todos los cerdos en un lote específico que se clasifiquen de acuerdo al mérito, por el cual el mejor de todos podría ser seleccionado para seguir a cría. Las mediciones físicas (crecimiento, grasa dorsal y el consumo de alimento) eran caras para reunir y tuvieron que ser ponderados en función de su valor de producción económica, por lo que la tasa global de cambio genético fue relativamente lenta (Braun y Cervellini, 2010; Braun, 2012).

Best Linear Unbiased Prediction (BLUP)

Sin embargo, el advenimiento del Best Linear Unbiased Prediction (BLUP), la teoría estadística, ayudó a los criadores de animales. Con las mismas medidas físicas, la aplicación del análisis BLUP significa que no sólo la selección fue más precisa (y por tanto la velocidad del cambio genético aumenta), pero puede comparar los cerdos con el tiempo, y entre los ambientes (Brandt, *et al.*, 1988; Bampton, 1992).

Ya no estamos obligados por la restricción de la comparación de los animales en un entorno común (en un punto dado en el tiempo). Estamos haciendo un mejor uso de las costosas mediciones físicas. El uso de la tecnología BLUP también abre la posibilidad de

predecir el mérito genético de la descendencia. Si bien, la exactitud de la predicción no es alta, es una herramienta más para ayudar a los criadores de cerdos a tomar decisiones de selección (Belousky y Kennedy, 1988; Brandt, 1990; Brandt, 1993).

Pruebas de ADN del cerdo

A principios de 1990, la biología molecular, a través de pruebas de ADN, comenzó a buscar un lugar muy importante en la cría de cerdos (fotografía 8). No se habla de la modificación genética directa. El ejemplo más famoso de pruebas de ADN en la cría de cerdos es la identificación del gen halotano (nn) como directamente relacionada con el síndrome de estrés porcino, que sigue siendo ampliamente utilizado hoy en día. Muchas investigaciones se llevaron a cabo, pero se hizo un uso limitado en la búsqueda de estos ADN llamados 'marcadores' (Braun y Cervellini, 2010).



Fotografía 8: Expresión fenotípica de una hembra Landrace sobre el exterior corporal

Una vez que se realiza una asociación entre una característica física y una secuencia particular de ADN en el sitio conocido, el marcador de ADN podría ser usado para seleccionar la característica física sin necesidad de tener que medir el cerdo para el rasgo en sí. Estos marcadores de ADN son útiles para la selección de rasgos que son difíciles de medir en el cerdo vivo, tales como calidad de la carne. El problema es que la asociación entre la característica física y el marcador de ADN no siempre es cierta y puede cambiar con el tiempo. Además, incluye más de un par de marcadores en las decisiones de selección que no es sencilla (Badke, *et al.*, 2012).

Mientras que la Ley de Moore expresa que el poder de computación se duplica cada dos años y puede ser conocido, un fenómeno similar denominado mejora exponencial se ha

visto rápidamente en los costos que está asociado con la lectura de los genotipos de los animales a partir de muestras de ADN. Esto ha abierto posibilidades aún más para los criadores de animales y de cerdo. Conocer el genotipo de los cerdos en muchos lugares a lo largo de los cromosomas, y el genotipo de los mismos en su árbol genealógico, hace posible rastrear las secciones de cromosomas que se heredan de generación en generación (Andersson, *et al.*, 2012)

También es posible conocer el desempeño de estos animales, para asignar valores a estos segmentos del genoma en cuanto a su influencia en un determinado rasgo cuantitativo como el crecimiento, la grasa dorsal y el consumo de alimento, en especial en cerdas en gestación (fotografía 9).



Fotografía 9: Cerdas en gestación en bretes individuales

Los criadores de cerdos miden físicamente un par de generaciones, y también determinan el genotipo de ellos para evaluar el "valor" de los segmentos cromosómicos. Luego simplemente determinan el genotipo de las próximas generaciones y trabajan por su mérito en la suma de los "valores" de cada uno de los segmentos cromosómicos que llevaban.

Nuevo enfoque híbrido

Sin embargo, en consonancia con el rápido ritmo de desarrollo tecnológico en el campo de la biología molecular, esta idea ha sido descartada, y en gran parte reemplazada por el híbrido de BLUP y el enfoque molecular. A cada cerdo se le da un valor BLUP estándar y un valor genómico nuevo. Usando el valor genómico o menos sería aumentar la precisión en un 25% por encima de evaluación BLUP. Así que, en lugar de reducir la

importancia (menos animales que se miden) de las mediciones fenotípicas, las mejoras actuales en la cría de cerdos son una vez más extraer el mayor valor posible de los fenotipos caros (Fernando y Grossman, 1989).

Se cree probable que en lugar de leer el genotipo en unos pocos miles de lugares, seremos capaces de obtener todo el genoma de los animales por relativamente poco dinero en el futuro previsible. Esto será como pasar de la lectura de la primera letra de cada página de un libro con 840.000 páginas al leer cada letra de cada palabra. Esperemos que la Ley de Moore continúe durante muchos años, si queremos tener algún sentido de todos estos datos. En otras palabras, los productores porcinos pueden esperar una gran mejora en el frente genético (Badke *et al.*, 2012).

El evidente incremento en los rendimientos productivos de los animales ha sido posible en estos últimos 20 años, gracias a una serie de factores concomitantes, tales como: mejoramiento genético de las razas en aspectos productivos y reproductivos, adecuación y racionalización de los planes de racionamiento, apropiada y racional selección de los alimentos en relación a sus calidades, adaptación de las estructuras edilicias para la vida en confinamiento o al aire libre, disponibilidad de promotores de rendimientos productivos y económicos eficaces y seguros, disponibilidad de fármacos idóneos y empleo de promotores de rendimiento y de fármacos en condiciones de eficiencia y seguridad (fotografía 10) (Lloveras y Goenaga, 2006).



Fotografía 10: Conformación externa de un cerdo terminador de descendencia evolutiva Duroc Yersey

Han sido posibles muchos progresos productivos por cuanto, por medio de la genética, se ha mejorado el campo biológico, haciendo posible el criadero intensivo y la aplicación de tecnologías que mejoran las mediciones de caracteres de importancia zootécnica económica en miles de animales y en distintas partes del mundo con el mismo objetivo de selección (Graser y Klassen, 1988; Cardén, 2000). Pero la selección también, ha puesto en evidencia aspectos cualitativamente negativos. En el cerdo existe una correlación negativa entre cantidad de carne y calidad, particularmente en algunas razas como la Pietrain y la Landrace Belga (Ávalos y Smith, 1987). Se han revelado aspectos negativos para la calidad tecnológica, organoléptica y química, imputables a genes "dominantes". De hecho, el gen de la hipertrofia muscular para el cuarto posterior es también responsable del síndrome "Miopatía exudativa depigmentaria" (gen del Halotano) (Fernando, 1990; Cardén, 2000). Siempre sobre la base genética aparece el síndrome de carnes oscuras, duras, anormalmente secas y por lo tanto no utilizables y no estacionables, del mismo modo que las pálidas fofas y exudativas rechazadas para el consumo fresco. Si se excluyen estos aspectos, en general por la selección, han permitido tener hoy carnes de mejor calidad. Todos los parámetros considerados en conjunto para definir la calidad están ampliamente influenciados por factores alimentarios (Braun y Cervellini, 2012).

La metodología para la evaluación de los animales ha evolucionado rápidamente en las últimas décadas. De la predicción del valor genético de un individuo considerando únicamente su fenotipo, se pasa a considerar parte de la información genealógica mediante índices de selección. La información (genealogía y datos) mediante la metodología BLUP (*Best Linear Unbiased Predictor*) permite una mejor corrección de los efectos ambientales sistemáticos, lo que será especialmente relevante para caracteres como la prolificidad en el que la componente ambiental es muy importante (Lofgren, *et al.*, 1989). El método posibilita la obtención de predictores lineales insesgados con varianza mínima. Entre las hipótesis asumidas cabe destacar la necesidad de considerar un modelo genético y estadístico correcto y el conocimiento de los parámetros genéticos de la población. Cuando se incluye la totalidad de relaciones de parentesco entre animales el método permite considerar los efectos de la deriva y de la selección, siempre que esta última esté contenida en los datos. Además, es necesario que la selección se haya basado en una función lineal invariante a la traslación (Long, 1989). La aplicación de métodos bayesianos puede suponer un paso más en la metodología de evaluación de los animales. Entre las ventajas de la predicción bayesiana cabe destacar la posibilidad de incorporar información *a priori* y la de

predecir los valores genéticos de forma conjunta con la estimación de los parámetros genéticos. Además, estos métodos permiten obtener estimación de las distribuciones marginales posteriores de todos los efectos del modelo y, por tanto, considerar mejor el riesgo en las decisiones de selección (Long, *et al.*, 1990).

En la evaluación genética de poblaciones porcinas, tanto para caracteres reproductivos como productivos, habitualmente se asume la existencia de una única población base no seleccionada. Esto puede ser difícil de sostener en muchos casos por la existencia de flujo de animales entre poblaciones (Cantet y Smith, 1991).

Objetivos

Para el presente trabajo final de graduación, se plantearon los siguientes objetivos:

- Mencionar los parámetros genéticos de la población de importancia económica – zootécnica.
- Detallar los métodos de información genealógica mediante la utilización de índices de selección.
- Discutir sobre los genes de efecto mayor sobre calidad y composición de la carne.
- Analizar la incidencia de los efectos ambientales en la predicción del valor genético de los distintos caracteres de selección.
- Mencionar los cruzamientos de importancia comercial en la actualidad.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica del tema en libros, revistas de investigación, divulgación y de artículos científicos relacionados, con el fin de actualizar los contenidos disciplinares del mejoramiento genético porcino para proporcionar un documento de actualidad a los estudiantes de la carrera de ingeniería agronómica. La redacción del documento se centró en la actualidad de la mejora genética, demanda social de los beneficios de la selección y en transmitir los contenidos relevantes del mejoramiento genético porcino a nivel mundial y nacional, especialmente el impacto en la cadena de valor porcina (productor, industrial, consumidor).

Se describieron 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,

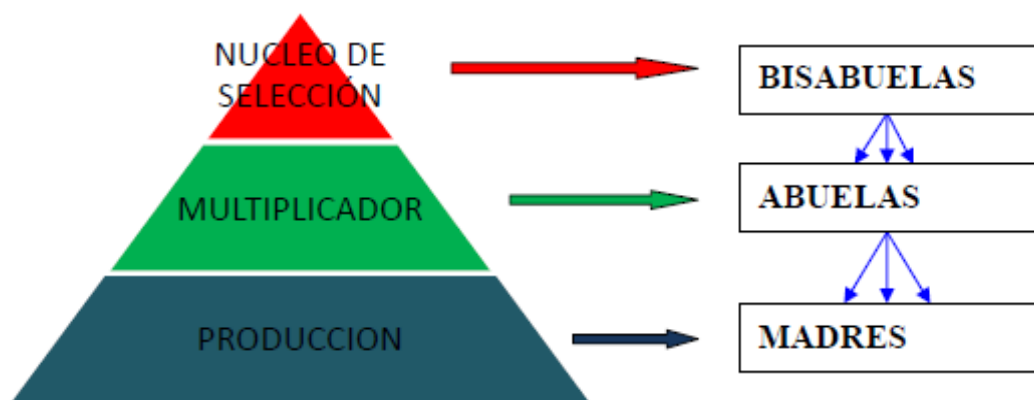
frecuencia en las distintas razas y “líneas”. Acciones que pueden tomarse para mejorar la calidad de la carne en relación con estos genes.

Se hizo 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.

Resultados y Discusión de la Revisión

Como se sabe, la producción porcina se estructura mediante la llamada pirámide de producción, que describe, a nivel de mejora genética, los distintos pasos a realizar, los tipos de granjas existentes y la relación entre éstas. Dicha pirámide (figura 1) se muestra a continuación:

Figura 1: Pirámide genética



Fuente: Lloveras, *et al.*, 2008.

Dentro de esta pirámide, los objetivos de cada tipo de explotación son:

-Núcleo de selección.- Mejorar los parámetros económicamente importantes de las distintas razas y líneas productivas, mediante selección de los mejores animales para dichos parámetros.

-Multiplicador.

- Diseminar la mejora genética a la cabaña porcina.

- Añadir a la mejora por selección la mejora por cruzamiento (vigor híbrido).

-*Granja de producción.*- Producir la mayor cantidad de kg de carne para matadero con la máxima eficiencia.

En esta estructura, y en condiciones normales, cada bisabuela llega a producir entre 70 y 100 madres al año, por lo tanto entre 1400 y 2000 animales de matadero (Goenaga y Lloveras, 2007).

El producto resultante de cada tipo de explotación es:

-Núcleo de selección-multiplicador.- Animales para vida.

-Granja de producción.- Animales para matadero.

Esto hace que, aunque todas sean granjas en las que se trabaja con ganado porcino, las granjas de genética, especialmente los núcleos de selección, tengan ciertas particularidades, tanto de manejo, como de orientación productiva, como de gestión de datos. Dado que el proceso de mejora genética y su influencia en el manejo de estas granjas suele ser poco conocido, y que cada vez es mayor el número de granjas que optan por cubrir varios pasos del proceso (granjas con abuelas que tienen autorreposición, o incluso granjas que, para evitar la entrada de animales, optan por tener también bisabuelas), se debe intentar explicar dicho proceso.

1) Particularidades de los núcleos de selección-multiplicadores.

-Trabajan con líneas puras, lo cual dificulta el manejo, ya que estas líneas son menos productivas que las híbridas, y menos rústicas (más sensibles a condiciones desfavorables). Esto se nota especialmente cuando se trabaja en selección de líneas paternas (normalmente Pietrain). Además, suelen coexistir varias líneas genéticas en la misma granja.

-Suelen tener un elevado status sanitario, y tener unas estrictas normas de bioseguridad (ya que cualquier patología presente en estas granjas afecta no sólo a la granja, sino a todas las granjas por debajo de ella en la pirámide).

-Tienen instalaciones específicas para el objetivo de selección-multiplicación genética (estaciones de testaje, crías de reproductoras, etc.).

-Requieren de un mayor control individual de los animales, y de un mayor volumen de recogida de datos y de gestión de éstos, como veremos en siguientes artículos.

2) Proceso de selección genética.

Como expresa Cardén (2000) selección genética se basa en algo tan simple de entender, pero tan complicado de llevar a la práctica, como *elegir de entre un grupo de animales los que son genéticamente mejores para unos caracteres determinados*. Lógicamente, para que esta selección sea efectiva, las empresas de genética tienen que responder adecuadamente a estas preguntas:

¿Qué animales son genéticamente los mejores? Hay que tener en cuenta que la expresión de un determinado carácter (lo que se llama fenotipo) es debida a dos factores: la genética del animal (genotipo) y su manejo global (medio ambiente), entendiendo como tal la suma de instalaciones, manejo, sanidad, alimentación, etc.

Por tanto, un animal puede ser genéticamente muy bueno para un carácter (por ej., prolificidad), pero tener una media de nacidos totales peor que otro animal con peor genética, por tener problemas medioambientales (mala alimentación, etc.). Las empresas de genética deben poder separar ambos efectos.

¿Qué caracteres seleccionar? Para que un carácter productivo, reproductivo o morfológico sea seleccionable, debe cumplir una serie de condiciones:

-Tener importancia económica (Andersson *et al.*, 2012). Los caracteres que se seleccionan, lógicamente, siempre tienen que significar mejoras en la eficacia productiva del animal, y por tanto mejoras competitivas para el productor. Un ejemplo claro de ello es la selección para la mejora del índice de conversión.

-Tener variación (Graser, *et al.*; 1987). Por poner un ejemplo, una raza o línea se puede seleccionar por longitud o profundidad de lomo, o por calidad de la carne de lomo, pero no por el número de lomos del animal, ya que obviamente todos los animales tienen dos lomos.

-Ser medible (Fernando, 1990). Incluso habría que añadir fácilmente medible. Por ejemplo, sería muy interesante poder seleccionar razas para una mayor docilidad, pero la medición de esta característica es tan complicada que hace prácticamente imposible su inclusión en los programas de mejora genética.

-Ser heredable (Lloveras, *et al.*; 2008). Hay caracteres más y menos heredables. Entre los más heredables se encuentran los morfológicos, y entre los menos heredables, los reproductivos.

-Se deben saber las interacciones (Cardén, 1999), tanto negativas como positivas, con otros caracteres. Por ejemplo, si se selecciona una raza para tener un menor porcentaje

de cobertura grasa, probablemente afecte negativamente a la calidad de la carne, al producirse una menor deposición de grasa intramuscular.

Actualmente, las empresas de genética aplican, para sus líneas genéticas, unos pocos caracteres, dependiendo de las líneas, y dando más importancia a unos u otros caracteres según la orientación que quieren que siga la misma.

Por ejemplo, para una línea materna, los caracteres a mejorar pueden ser, por orden:

-Prolificidad-media destetados-aplomos-longevidad-velocidad de crecimiento

Y para una línea paterna, pueden ser:

-Velocidad de crecimiento- índice de conversión- calidad de la carne aplomos.

Hoy en día la mayoría de empresas de genética usan para este proceso el método llamado BLUP (en español, Mejor Predicción Linealmente Independiente). Para los siguientes autores Grogan y Flanagan (1987); Harris, *et al.*, (1989); Groeneveld, *et al.*; (1990) y Kuhlers y Kennedy (1992) dicho proceso se basa en:

-Recogida de datos (morfológicos, productivos, reproductivos) de una serie de animales.

-Introducción de dichos datos en el programa de mejora basado en el BLUP.

-Obtención, para cada animal, de un **índice genético**: un número que *estima el valor genético de ese animal para los caracteres que se han determinado, comparado con el valor medio de un grupo de animales para esos mismos caracteres*. Por ejemplo, si el valor medio para esos caracteres es 100, todos los animales con un índice genético mayor de 100 tendrán un mejor valor *estimado* (ya que la mejora genética se basa siempre en estimaciones, al no poderse saber con exactitud la validez genética de un animal) mejor que la media.

-En base a dichos índices genéticos, se eligen los mejores animales para las cubriciones en pureza (es decir, de la misma línea), buscando una mejora de dichos caracteres productivos en la generación siguiente.

-Hay que tener en cuenta que dichos índices genéticos van variando a lo largo de la vida del animal, ya que se va recogiendo información tanto suya como de sus parientes.

El diagrama sería el siguiente (figura 2):

Figura 2: Proceso de mejora genética



Fuente: Fanus, 2004.

Entre las ventajas que tiene el BLUP respecto a anteriores métodos de selección están (Lofgren *et al.*, 1989; Long, 1989):

-Aunque no exactamente, pero sí en gran medida, permite separar la parte de la expresión del carácter seleccionado que es debida al medio ambiente (manejo, instalaciones, etc.), de la que es debida a la genética del animal. Aún así, los caracteres que se ven muy influenciados por el medio ambiente (como puede ser la media de destetados) son más difíciles de seleccionar.

-Para calcular el índice genético del animal, usa los datos de todos sus parientes: ascendientes (padres, abuelos, tíos...), descendientes (hijos, etc...) y colaterales (hermanos, medios hermanos...), con lo que la estimación es mucho más exacta.

-Permite comparar animales de distintas granjas, con distintos manejos, siempre que estos animales estén relacionados con algún grado de parentesco. En la figura 3 se expresan los principales atributos de algunas razas porcinas, en tanto en la figura 4 los biotipos de machos enteros de razas puras

Figura 3: principales atributos de algunas razas porcinas

Aptitud	Raza	Atributos			
		Reproducción	Crecimiento	Composición corporal	Calidad de carne
Materna	Landrace	+++	+	+	++
	Yorkshire	++	++	++	++
General	Duroc Jersey	+	+++	++	+++
	Pietrain	+/-	+	+++	-
Terminal	Landrace belga	-	+	++	-
	Hampshire	-	++	++	-
	Spot Poland	-	++	+	sd

Fuente: Rothschild, M. and Bidanel, J., modificado (1998)

Fuente: Brunori, et al.; 2009.

Figura 4: los biotipos de machos enteros de razas puras



Fuente: Brunori, et al.; 2009.

Importancia de la herencia monogénica

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 (Cardén, 1999).

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**

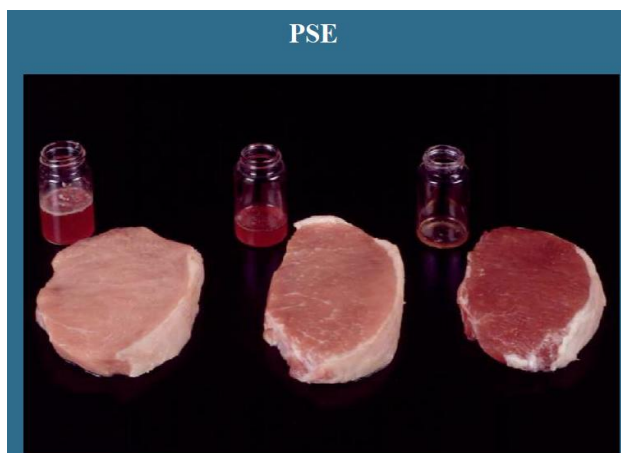
El genotipo susceptible: Homocigota recesivo **nn**

De acuerdo a Cardén, (1999; 2000) 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 descriptos 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 **R_{YR}** 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 **R_{YR}** 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:

Expresa Lloveras, *et al.*, (2008) que 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 descritas (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 11 a la izquierda carne PSE.



Fotografía 11: 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 (Lloveras y Goenaga, 2006; 2009).

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.

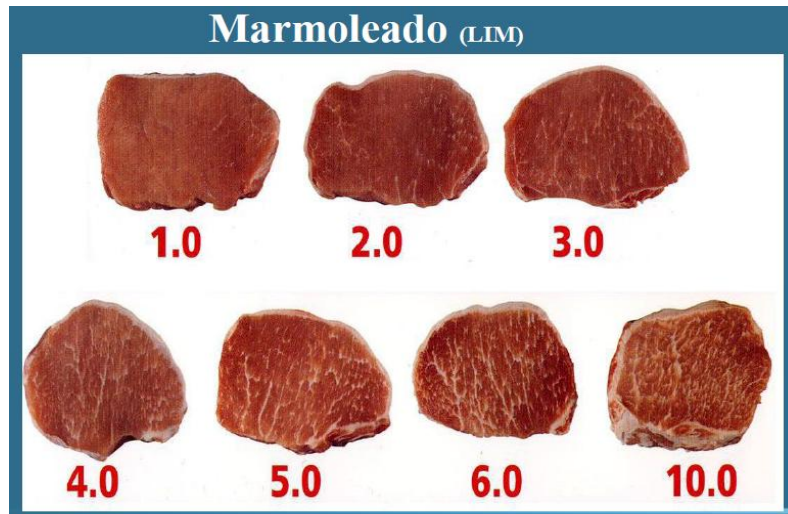
De acuerdo a Lloveras y Goenaga (2009) las razas Hampshire y Spotted de USA, se caracterizan por aspectos positivos de composición corporal y buena conversión alimenticia. Ahora, Hampshire posee problemas de calidad de la carne circunscriptos a un bajo rendimiento de los jamones cocidos, que ofrecen 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.

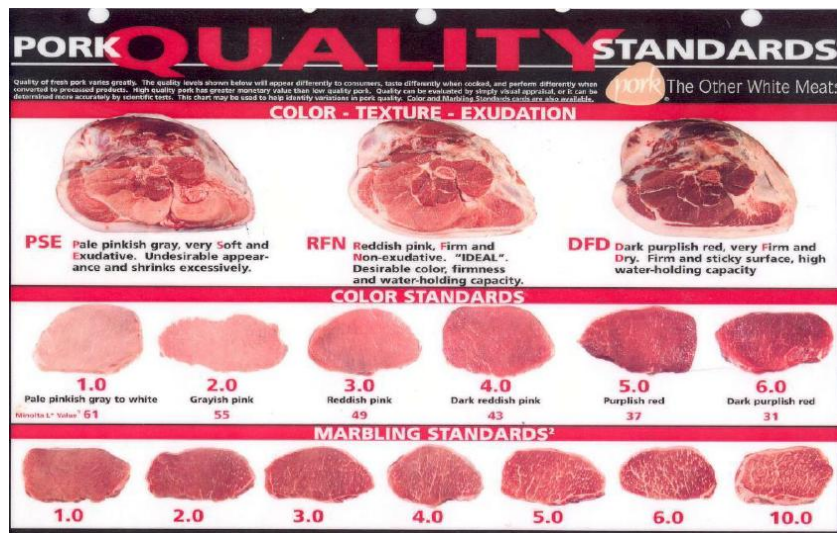
A diferencia del gen Halotano, el gen **RN** no parece tener efectos pleiotrópicos sobre otros caracteres de interés económico.

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 fotografía 12 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) (Brewer, *et al.*; 2002).



Fotografía 12: escala de marmoleado de la carne

En el siguiente banner (fotografía 13) los estándares internacionales de calidad (Braun, 2012).



Fotografía 13: estándares internacionales de calidad

Gen del Halotano

Señala Cardén (1999) y Goenaga y Lloveras (2007) que es un factor hereditario, que afecta a la calidad de la carne, causando su deterioro por producir PSE. Esto genera problemas, especialmente para la industrialización, debido a la exudación de líquido, la decoloración de las carnes y a sus bajas propiedades organolépticas, para el consumo fresco, ya que son pastosas, desabridas y secas; a esto se le suma, también, la poca vida útil del producto, consecuencia de su baja capacidad de retención.

El síndrome del estrés porcino, es una enfermedad genética, que se da en cerdos de mayor rendimiento o desarrollo muscular, mejorados para estas características. Los programas de selección, basados en incrementar el contenido de magro, arrastraron como efecto indeseable, una disminución en la calidad de la carne, con correlaciones negativas con caracteres de producción (contenido de magro). Este gen tiene una alta incidencia, en cerdos de raza Pietrain y Landrace Belga, resultado de la selección por masa muscular.

Esta enfermedad provoca una muerte súbita, causada por acciones de manejo o en el sacrificio, dando carnes PSE. Todo lo que le genere estrés al animal, será causante de este síndrome: peleas, cambios de corral, transporte, cambios bruscos de temperatura, sujeción, etc.

El animal comienza con temblores musculares, disnea intensa, áreas isquémicas, alta temperatura corporal (hipertermia maligna), cianosis, marcada rigidez muscular, y muerte; ésta es resultado de una acidosis metabólica e hipertermia, que generan daño renal, hepático, y degeneración muscular.

El síndrome del estrés porcino, la presencia de PSE y la hipertermia maligna, son resultado de una mutación en el gen receptor de la Rianodina (RYR1). Esto produce una alteración en el canal de liberación del calcio del retículo sarcoplasmático, del músculo esquelético, o conocido también como receptor de la rianodina, caracterizado por producir un desorden neuromuscular (Braun y Cervellini, 2010).

El gen del halotano o RYR1, es un gen autosómico, que se manifiesta en forma recesiva. Los genes normales son denominados (N) y los mutantes (n); como ocurre siempre, el animal recibe un gen de cada padre, obteniéndose tres genotipos diferentes:

NN: cerdos normales

Nn: cerdos portadores o heterocigotas

nn: cerdos mutantes o recesivos

¿Qué se puede hacer para combatir esta enfermedad genética? (Lloveras, *et al*; 2008).

Para reducir la transmisión de este gen, hay que tener en cuenta, que si cruzamos cerdas normales (NN), con machos portadores (Nn), obtenemos un 50% de cerdos normales, óptimos para el mercado, y otro 50% que son portadores. Si realizamos cruza de cerdas (Nn) o (nn), se producirán cerdos recesivos, que serán susceptibles a muertes súbitas por SEP y más del 90%, producirán canales PSE. Por lo tanto, una manera de reducir la incidencia de la enfermedad, consiste en evitar el cruzamiento de cerdas recesivas.

Para esto, debemos detectar los animales recesivos, a través del Test del Halotano, que consiste en la administración del gas, junto con oxígeno, en un sistema cerrado. Se debe realizar en lechones jóvenes (7-12 semanas), en un tiempo de 3 a 10 minutos. El cerdo normal se relaja y cae; los cerdos recesivos, manifiestan estrés: hay pre-rigor mortis, contracción muscular intensa, y si no se remueve el gas, el animal muere.

El inconveniente de esta prueba, es que no detecta el gen portador en heterocigotas, en los que se ha demostrado, que también pueden producir carnes PSE. Por este problema, el SEP (Síndrome de Estrés Porcino), no se puede eliminar genéticamente en las poblaciones de cerdos. Sin embargo, la condición de que se exprese el SEP, depende del manejo que se le dé al cerdo, sobre todo, en la etapa anterior al sacrificio; en esta, el animal sufre un estrés tal, que se refleja en las características de la carne: aumento de la acidez, poca retención de agua por las proteínas, generando humedad, que se deposita en la superficie de la carne, produciendo, de esta forma, las carnes pálidas, exudativas, que generan rechazo en el consumidor. Algunos investigadores, proponen, que si a los cerdos se les permite descansar, 72 hs previas al sacrificio, pueden mostrar características opuestas al SEP, a pesar de tener la condición genética. El INTA (Lloveras y Goeneaga, 2009) demuestra, las diferencias que se obtienen, al emplear diferentes manejos pre-faena:

Cuadro1: Incidencia del PSE % de acuerdo al manejo pre-faena

	Cuidadoso	Recio	CO2	Eléctrico
NN	22	11	8	25
Nn	35	90	25	39

El buen manejo de los animales, a fin de disminuir los factores estresantes, será una herramienta más a implementar, para reducir la presencia del SPE, el cual afecta negativamente, la calidad de la carne.

Gen RN (Rendement Napole)

El gen RN o el efecto de Hampshire, conocido también como gen Napole de la carne ácida, es otro gen que afecta la calidad de la carne de cerdo, con una alta frecuencia, en cerdos de la raza Hampshire (60%) y sus cruza. El nombre RN proviene de una técnica francesa utilizada para medir el rendimiento tecnológico de la carne después de su cocción para elaborar jamón cocido (Rendement Napole).

Los animales portadores del gen dominante RN, presentan una carne con fibras musculares blancas (2b), elevado contenido de glucógeno (70%), con una rápida caída del pH post-mortem “último” en músculo y un potencial glucolítico alto.

Estas características se exhiben en los homocigotas y heterocigotas (RN/-), siendo de carácter dominante, el alto contenido de glucógeno en las fibras musculares de estos cerdos.

En los diferentes sectores del mercado (consumo fresco, fiambres cocidos y salazones), existen demandas de calidad, relacionadas con dos características físico-químicas del músculo: acidez post-mortem (pH “último” 24 hs después de la faena) y contenido de lípidos intramusculares. El gen RN, produce consecuentemente, carnes más ácidas, incluso, que el gen del Halotano, con baja capacidad de retención de agua, y bajo tenor de proteína intramuscular. Producto de esto, el rendimiento de los chacinados y fiambres cocidos, baja a un 5-6%, pérdida que supera mucho a la ocasionada por el gen del Halotano. Las carnes, además, son duras, menos jugosas y con un sabor inferior a los cerdos rn+ (alelo recesivo favorable) siendo poco aptas para el mercado de carne fresca, con lo cual constituyen una pérdida económica, por su desvalorización, debido a la inutilización de las carnes, tanto para la industria de chacinados como para su consumo en carne fresca (Braun y Cervellini, 2010).

Existen correlaciones genéticas (el coeficiente de correlación expresa el grado de asociación por efectos genéticos comunes a dos características), como el tipo de fibra muscular (característica histoquímica del musculo que es heredable), que se relaciona directamente con el incremento de masa muscular .También, hay una correlación genética

positiva, entre el contenido de grasa intramuscular (3%) y la ternura, el aroma y el sabor (Brewer, *et al.*, 2002 y Lloveras, *et al.*, 2007).

La selección de cerdos, a favor del incremento de tejido muscular, para obtener animales más magros, trajo como consecuencia, características desfavorables para la calidad de la carne, donde el pH tiene una importante correlación con el potencial glicolítico de la carne, generando carnes ácidas, de reducida capacidad de retención de agua, con pérdidas de peso del jamón, al ser cocido (Lloveras y Goenaga, 2009).

Variación de la calidad de la carne en las diferentes razas o genotipos

De acuerdo a Cardén, (2000), los caracteres en los que podemos encontrar diferencias, dependiendo de las razas o líneas que se estén utilizando para producir carne, son: el contenido de grasa intramuscular, la capacidad de retención de agua, el color y la ternura.

Tanto en el consumo de carne fresca, como en la producción de chacinados, es necesario la ausencia del gen del Halotano, que produce las carnes pálidas y exudativas, presente en alta frecuencia, en la raza Pietrain, Landrace Belga y en sus derivados híbridos o sintéticos. También, es necesario excluir el gen RN, de la raza Hampshire, que ocasiona grandes pérdidas.

Para producir jamón seco y curado de buena calidad, es necesario que la carne presente, un bajo contenido de grasa intramuscular, que podemos encontrar en las razas Large White, Yorkshire y sus líneas híbridas.

En la producción de carne, destinada al consumo fresco, se recomienda el uso de machos terminales de la raza Duroc, raza que se caracteriza por presentar un alto % de grasa intramuscular, otorgándole características favorables a la carne; esta es más jugosa, tierna, con buen sabor, y carece de malos olores. Las líneas Duroc son utilizadas para mejorar la calidad, tanto para el consumo fresco como industrial.

Respecto a la comparación que se realiza, entre razas europeas y chinas, o sus cruces, se concluye, que estas últimas producen una carne más tierna, jugosa y sabrosa, pero la cantidad de grasa que poseen, es excesiva, por lo cual se las utiliza poco.

Gen H-FAB

En la producción de carne, se busca la disminución de la cantidad de grasa, que es obtenida, a través de la medición del EGD (Espesor de Grasa Dorsal); pero esta reducción,

trae como consecuencia la disminución de la calidad. Esto se debe, a que la grasa intramuscular, posee una correlación positiva con la suavidad, jugosidad y sabor (Fanus, 2004).

El contenido de grasa intramuscular, tiene una heredabilidad de moderada a alta, y el contenido óptimo en la carne es del 2-3%.

En cuanto a la función del gen, las proteínas ligadoras de ácido graso (FABPs), intervienen en el transporte de los ácidos grasos, del plasma a las células que codifican estas proteínas (intestino, hígado, adipocitos, corazón y músculo esquelético).

Por análisis de PCR, se determino su asociación con el contenido de grasa intramuscular, EGD, y crecimiento (Fanus, 2004). Sin embargo, por ser una característica de engorrosa medición en los animales, todavía no es aplicado a programas masivos de selección.

Gen receptor de la Leptina

El control del peso corporal, está relacionado con el tejido graso del animal, y por la acción de regiones hipotalámicas, encargadas de regular la ingesta y el metabolismo celular.

El receptor de la Leptina (LEPR), es una proteína, una citoquina de Tipo 1. El (LEPR), en el cerdo, se encuentra en el cromosoma 6 (Braun y Cervellini, 2010).

La Leptina es una proteína, liberada por células adiposas (en base al estado nutricional del animal), que viaja por sangre, para llegar al sistema nervioso central e inhibir al neuropéptido “Y” (NPY). El (NPY), es un factor estimulante del apetito; por lo tanto, la leptina, produce saciedad y ejerce, de esta manera, un control sobre el peso corporal, con aumento del metabolismo basal.

El porcentaje de ARNm de Leptina, en cerdos seleccionados por su alto EGD, para producir tocino, es mayor (113 %) que en cerdos control; por lo cual, la expresión de la Leptina, está relacionada con el contenido de grasa corporal, y con el tamaño de la célula adiposa, siendo mayor su expresión, en el tejido adiposo de cerdos obesos que en lo magros.

Otros genes de importancia en la producción porcina

Señala Cardén (2000) y Goenaga y Lloveras (2007) que 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 nm. 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 (Cardén, 2000).

En el Cuadro 2 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 (Fernando, 1990; y Badke, *et al*; 2012).

Cuadro 2: 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.	-	-

Fuente. Lloveras y Goenaga, (2009).

Además de los efectos de genes mayores, la mayoría de los caracteres de calidad de carne exhiben herencia poligénica y es por ello la variabilidad en los % de h^2 (Cuadro 3).

Los genes múltiples, poligenes o genes menores, representan una amplia variabilidad de genes que se encuentran en las poblaciones de cerdos, algunos de los cuales, podrían ser utilizados en mejorar la calidad de la carne y obtener un progreso genético a través de la selección (Los porcinos también se estresan-INTA EEA) (Goenaga y Lloveras, 2007).

Algunos de los genes que están relacionados en la calidad de la carne, son los siguientes (Lloveras, *et al.*, 2009):

- H-FABP, involucrado con el contenido de grasa intramuscular.
- El gen Insuline Growth Factor-2 (IGF-2), asociado al % de magro y EGD.
- El gen Melano Cortin 4 receptor (MC4 R), con influencia sobre el crecimiento y deposición grasa.
- El gen de la Leptina, el receptor de Leptina.
- El sistema enzimático de la Calpaína, relacionada con la terneza de la carne después del proceso de maduración.

Estos genes, todavía no son aplicados en la producción.

Cuadro 3: heredabilidad (h^2) de distintos caracteres de calidad de carne (NPPC, 1995)

CARÁCTER	h^2
pHu (24 hs postmortem)	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 sólo pHu (24 hs postmortem) 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 (Braun y Cervellini, 2010).

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 (Braun, 2012).

Elección de genotipos apropiados para producir carne de buena calidad

Señalan Cardén, (2000); Lloveras y Goenaga, (2009) y Braun y Cervellini, (2010), que 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. 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 sobrepago 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 (Lloveras, *et al.*, 2008): 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 (Cardén, 1999): 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 (Lloveras y Goenaga, 2009): velocidad de crecimiento, contenido de magro, conversión alimenticia y tamaño de la camada.

En el cuadro 4 se detallan algunos objetivos de selección usados en el mejoramiento genético porcino y los criterios de selección para cada uno de ellos (Braun y Cervellini, 2010):

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

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

Cuadro 4: objetivos y criterios de selección

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	* 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	* Escalas subjetivas * Reflectometría
Retención de agua en la carne	Tiempo de imbibición (papel)
Prolificidad	* N° de lechones nacidos * N° de lechones destetados * Tasa de ovulación
Línea materna *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
Línea terminal * Ganancia diaria de peso * Rendimiento de la canal * Contenido de carne magra Porcentaje de cortes magros	

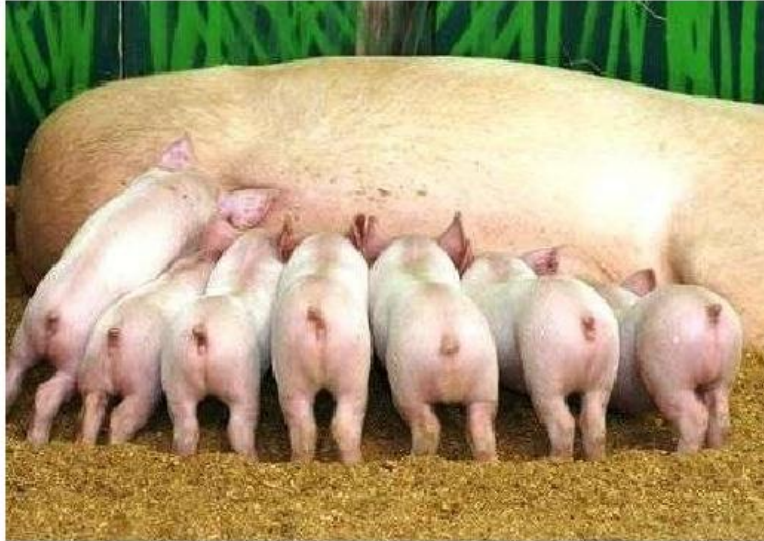
En la figura 5 algunos biotipos que expresan objetivos de selección de líneas terminales y composición de la ganancia (magro vs. grasa)

Figura 5: biotipos que expresan objetivos de selección de líneas terminales y composición de la ganancia (magro vs. grasa) (Lloveras y Goenaga, 2009)



En las fotografías 14 y 15 se observan criterios de selección sujetos a objetivos reproductivos de heredabilidad menor (Brunori, *et al.*, 2009).

Número de lechones por camada: La prolificidad de las hembras se evidencian por la cantidad de lechones que logren parir y la habilidad materna es demostrada por el número de lechones que logren destetar.



Estas características son de cierta heredabilidad, de ahí que es importante seleccionar machos o hembras provenientes de camadas numerosas de por lo menos ocho o más lechones al destete.

Fotografía 14: número de lechones por camada

Peso de la camada: El peso total de la camada es un parámetro muy importante e indicador de la capacidad de amamantamiento de las marranas.



Fotografía 15: peso de la camada al destete

En las fotografías 16, 17 y 18 caracteres de selección de heredabilidad intermedia dentro de los objetivos de selección correspondientes a exterior de carcasa y precocidad (Brunori, *et al.*, 2009).

Edad a los 90 kg de peso vivo: El peso, en relación con la edad, es un parámetro que indica la precocidad de los animales.

Las cerdas jóvenes seleccionadas para pie de cría deben pesar 90 kg a los 165 días o menos, y los verracos a los 150 días o antes.



Fotografía 16: Edad a los 90 kg de peso vivo

Conformación: Tanto los machos como las hembras deben presentar características fenotípicas estándar de las razas escogidas. En general, deben presentar una conformación carnosa, buen desarrollo óseo, buenos aplomos. Los machos deben presentar claros rasgos de masculinidad, buena inserción y buen desarrollo de testículos.



Fotografía 17: características fenotípicas de conformación

Desarrollo mamario: El animal debe tener como mínimo seis pares de tetas, bien desarrolladas simétricas y funcionales tanto en machos como en hembras.



Fotografía 18: desarrollo mamario con relación a número y equidistancia entre mamas

En la figura 6 se observa la posición de un ecosonda para medir grasa dorsal y características de la carcasa en cuanto a longitud de acuerdo al peso vivo de faena (Brunori *et al.*, 2009).

Figura 6: medición de grasa dorsal y características de la canal



En la figura 7 se observa el lugar dónde se mide por ecosonda y reflectometría el área de ojo del músculo y la grasa dorsal in vivo por ecosonda y ecógrafo (Brunori *et al.*, 2009).

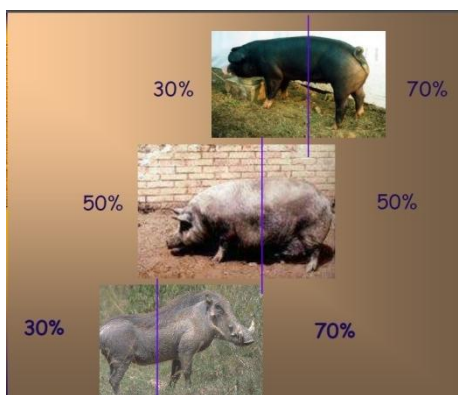
Figura 7: Sección de medición del área de ojo del músculo y espesor de grasa dorsal



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?

De acuerdo a Hazel, (1943) y Cardén (1999) 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, logrando en el tiempo lo que observamos en la fotografía 19 por intervención del hombre y la evolución.



Fotografía 19: Cambios en la conformación de la carcasa por evolución y mejora genética

En tal sentido la selección se basa en:

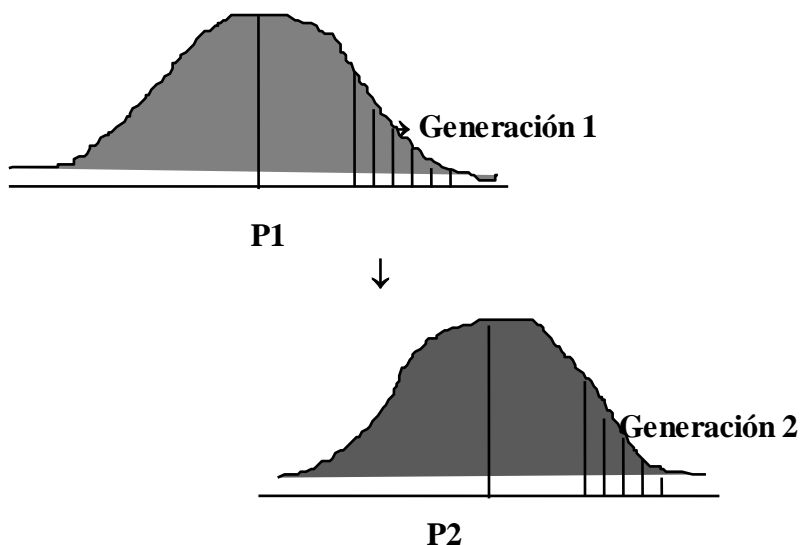
1. La herencia de los caracteres, y objetivamente, se miden a través de las varianzas genotípicas en razón que:

FENOTIPO = GENOTIPO + MEDIO AMBIENTE
 (Factor medio (Predisposición (Todas las influencias
 hereditario) hereditaria) exteriores)

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.

En la Figura 8 se observa la distribución de un carácter y sus medias fenotípicas en función de una generación de selección (Braun y Cervellini, 2010).

Figura 8: 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, que se calculan de acuerdo a (Cardén, 1999):

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

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:

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

i= Intensidad de selección

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

L= Intervalo generacional

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

Reflexiones sobre respuesta a la selección

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.

En el cuadro 5 se detallan los métodos de evaluación de reproductores de la especie porcina y los méritos relativos de cada uno de ellos (Braun y Cervellini, 2012).

Cuadro 5: métodos de evaluación de los reproductores de la especie porcina

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	(i)	(r _{HL})	(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) (Vries,1990; Vries, *et al.*, 1990 y NPPC, 1995) estima la h^2 de distintos parámetros genéticos, mediante decenas de miles de corridas interactivas (derivadas) y supone que la h^2 es:

$$h^2 = \frac{Va \text{ (varianza aditiva)}}{Vf \text{ (varianza fenotípica)}}$$

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) (Badke, *et al.*, 2012) 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 pedigrí 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 (Cardén, 1999, 2000).

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:

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

Ahora, si los genes son neutros la varianza mutacional (Visscher *et al.*, 1991) responde a la siguiente fórmula:

$$2 Ne \sigma_A^2 m$$

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

Como ya se 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:

$$G = IB - Cc - Cr$$

Donde:

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:

$$G = N(nWV - nC1d - C2)$$

N = nº de cerdas en la granja

n = nº de progenies vendidas por cerda

W = peso del tejido magro individual

V = valor del magro en \$

C1 = Costo fijo del crecimiento de cada cerdo

d = nº de días que está en engorde

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

En el cuadro 7 se expresa cómo varía los coeficientes en base a criterios de evaluación económica (Andersson, *et al.*, 2012).

Cuadro 7: 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	$G1 = nWV1 - nC1d - C2$	$WV-C1d$ $- nC1$ 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 (Cardén, 1999) que para la especie porcina puede ser representada de la siguiente manera:

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

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 (Lloveras *et al.*, 2008).

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 descrita, 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 (Brewer *et al.*, 2002).

¿Cómo lo hace? , Si parte 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:

$$\mathbf{G} = \mathbf{h}^2 (\mathbf{V}_p - \mathbf{V}_p)$$

\mathbf{V}_p = valor genético del individuo y \mathbf{V}_p = 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 (Goenaga y Lloveras, 2007).

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:

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

\mathbf{V}_a = varianza de efectos aditivos

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

σ_{py}^2 = varianza fenotípica

y,

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

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

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

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 se incorporen en ellos estén mal (Braun y Cervellini, 2010).

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 se incorporen 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.

Selección genómica en porcinos y ganado lechero

Con la selección genómica se puede determinar el potencial genético de un animal de acuerdo con su perfil de ADN. Según un estudio realizado entre los investigadores Daneses de la Universidad de Aarhus y del Centro de Investigación Porcina, la selección genómica puede conllevar muchas ventajas a la selección porcina (Sanchez, 2013).

Los científicos aseguraron que pueden utilizar muestras de sangre para obtener una fotografía de los caracteres heredables de un animal, a diferencia de lo que sucede con los métodos actuales, con los que es necesario analizar varios rasgos, lo que supone más tiempo y dinero. De todos modos la selección genómica es muy aplicable en especies de mayor largo generacional como en el caso de vacunos, pues se acorta enormemente el tiempo para determinar el valor genético de un animal.

Con la tecnología de ADN, se pueden mejorar, por ejemplo, la certidumbre de la determinación del potencial genético de la eficiencia en el consumo de alimento. También se pueden mejorar cuestiones de bienestar animal usando tecnología basada en el ADN, porque el potencial genético de lechones machos y hembras se puede determinar al nacimiento.

La selección genómica puede hacer más fácil la combinación de mejoras en el bienestar del cerdo con la eficiencia productiva. Así mismo, una de las conclusiones de esta investigación es que el consumo de alimento puede reducirse, ya que los cerdos se criarán para mejorar la eficiencia de alimentación. El consumo de alimento es un factor económico principal en la producción porcina, pero es difícil de mejorar más utilizando los métodos de reproducción actuales. La tecnología basada en ADN mejoraría la certeza de determinar el potencial genético para la eficiencia alimentaria en un animal reproductor tanto en machos como en hembras a partir del nacimiento.

Hoy en día, la longevidad de las cerdas es difícil de mejorar vía reproductiva ya que la longevidad sólo puede determinarse en cerdas viejas. El proyecto se basa en el desarrollo de un nuevo chip que consiste en 60.000 marcadores SNP (polimorfismo nucleótido simple). La gran capacidad de almacenamiento de información sobre el ADN del animal es lo que abre una nueva ventana de posibilidades para seleccionar los mejores animales para reproducción (Sanchez, 2013).

En comparación con los métodos y tecnologías reproductivas empleadas hoy en día, la selección genómica allanará el camino para grandes cambios en la reproducción porcina en Dinamarca. En palabras de los investigadores, “existe una gran necesidad de desarrollar mejores modelos matemáticos y estadísticos entre ellos los bayesianos que permiten analizar datos a priori para calcular el valor genómico reproductivo a partir de la información desde momentos muy tempranos del individuo a través de los SNP conocidos e ir incorporando nuevos. Además, se necesitan desarrollar planes de reproducción en los que la selección genómica esté incluida y que aseguren el mejor uso e implementación de las nuevas tecnologías”. El cambio mayor que presenta esta tecnología es la habilidad de conducir 54.000 análisis de marcadores ADN en forma simultánea, con un costo moderado. Estos marcadores de poliformismo nucleótido simple (SNP) que representan cambios en la base individual (A, T, C o G) dentro de la secuencia del ADN, pueden obtener un genotipo de modo mucho más eficiente que con los marcadores microsatélite usados en el pasado, que requieren una labor muy intensiva (uno por vez). El segundo cambio que hace que la selección genómica sea posible es el descubrimiento reciente de que, una vez que un gran número de marcadores genéticos más o menos espaciados (p.ej., por lo menos 30.000) se encuentran disponibles para un animal determinado, puede estimarse el valor genético de ese animal basado en asociaciones entre los genotipos de esos marcadores y el rendimiento en leche, puntajes de células somáticas, vida productiva, tasa de preñez de las hijas, y otros

rasgos importantes. Estas asociaciones se estiman usando datos de los ancestros de los animales, en particular los machos con pruebas de progenie representados en el pedigrí del animal. Los animales clave en este proceso han sido los toros lecheros representados en el Repositorio de ADN de Cooperativas Lecheras de Canadá, que fue formado hace casi 15 años, cuando las empresas de inseminación artificial comenzaron a guardar muestras de semen de cada toro joven que entraba a sus programas de pruebas de progenie, con el propósito de realizar investigaciones en el futuro (Sánchez, 2013). Aunque parezca misteriosa, la selección genómica es realmente bastante simple. Todo lo que se sabe acerca del potencial genético de un toro joven en el pasado era el promedio de su padre y madre (PA), que era sencillamente el promedio de las habilidades trasmisoras (PTA) de sus padres, y no había manera de determinar si este animal joven tenía una muestra de genes que fuera mejor o peor que el promedio de sus padres. No existía opción tampoco, sino esperar dos años hasta que poder medir su desempeño propio, en el caso de hembras, o esperar cinco años hasta poder medir el desempeño de su progenie, en el caso de machos. Ahora, ya que las relaciones entre los marcadores SNP y los importantes genes funcionales que se observan en los ancestros de un animal se mantienen por varias generaciones (antes que la re-combinación destruya estos enlaces genéticos), se puede finalmente darle una mirada a la bola de cristal, y ver qué nos deparará el futuro para un animal joven determinado. Investigaciones recientemente realizadas muestran que, para un toro joven y una vaquilla Holstein, se puede combinar el PA del animal con la información genómica para tener un “PTA Genómico” con una confianza del 60 al 70%. Esto es muchísimo mejor que la confianza de su PA, que es típicamente sólo del 30 al 40%. Para una ternera, la confianza de su PTA genómico es equivalente al que se tendría al medir datos de varias lactancias del animal y de sus hijas. Y para una vaca joven, la información puede combinarse con sus propios datos de lactancia para obtener una estimación significativamente más exacta de su mérito genético. Para un ternero macho, la confianza de su PTA genómico es equivalente al que se obtendría midiendo el desempeño de cerca de una docena de hijas. Debido a esto, una vez que este toro completa sus pruebas de progenie y tiene datos del desempeño de 80 a 100 hijas, la información genómica pierde un poco su valor (Sánchez, 2013).

¿Qué puede esperar la Industria? ¿Qué significa esto para la industria lechera? del lado del macho, casi todos los toros jóvenes que entran a un centro de IA en EE.UU son analizados genómicamente hoy, y muchas madres potenciales son analizadas también. Esto generará

una tasa mucho mayor de éxito en las pruebas de progenie del futuro, ya que se sabe antes de la entrada al centro de IA, que cada toro joven ha recibido una buena muestra de genes de sus padres. A través del tiempo los centros de inseminación comenzarán a comercializar semen de toros jóvenes individuales, o “equipos” de toros jóvenes que tienen PTAs genómicos, pero no hijas propias.

Estos toros con “análisis genómicos” tenderán a reemplazar a los toros probados más viejos, que estaban al final del grupo de toros activos, y algunos toros jóvenes con PTAs genómicos realmente destacables serán usados en contratos de apareamiento. A la larga, cuando los centros de IA y los productores se sientan más cómodos con esta tecnología, podrían ver una declinación en las pruebas de progenie, dado que su propósito es básicamente el mismo que el del Beadchip - ver qué toros jóvenes tuvieron las mejores muestras de genes de sus padres. En las vacas, el análisis de ADN de las madres potenciales de toros ya se está transformando en la norma, y el análisis de crías o vaquillas potencialmente valiosas en ventas de consignación puede volverse común pronto también. En el caso de transferencia de embriones, ya sea para producir un ternero macho para IA, o una ternera para exportación o venta en consignación, la primera elección del “flushing” acaba de volverse mucho más valiosa (Sánchez, 2013).

En cuanto a aplicaciones en la industria como podría esperarse, estos hechos recientes han originado una explosión en las investigaciones de la genómica lechera y porcina. Muchas herramientas nuevas y útiles, algunas de las cuales ni siquiera pueden imaginarse todavía, serán desarrolladas en la próxima década basadas en la tecnología relacionada con la genómica. Un tema de gran interés es el desarrollo de sistemas de bajo costo que puedan ser utilizados para obtener el genotipo de gran cantidad de animales (por ejemplo, de vaquillonas de reemplazo) en las fincas comerciales. Un producto así puede además ser empleado para la revisión de familias de pedigrís “cruzados”, diferentes, para encontrar machos o hembras “elite” que puedan ofrecer contribuciones únicas a la raza.

Otro tema de interés es el desarrollo de programas de apareamiento basados en los resultados de los análisis de ADN, en lugar de los pedigrís o los datos de conformación. Y por último, debe enfatizarse que, a esta altura, los resultados de otras razas lecheras aparte de la Holstein no han sido tan promisorios. Las ganancias en nivel de confianza en Jersey han sido alrededor de la mitad de las ganancias que se han observado en la raza Holstein, y las ganancias en la confianza de la raza Pardo Suiza han sido casi insignificantes. Pero este desempeño tan pobre puede deberse más que nada al número reducido de animales de estas

razas (por ejemplo, no hay muchos toros con pruebas de progenie disponibles, que permitan estimar las asociaciones entre los marcadores de SNP y los rasgos más importantes), y los esfuerzos ya están encaminados para combinar la información de los toros de América del Norte con la de poblaciones clave de ganado a nivel internacional.

Cruzamientos

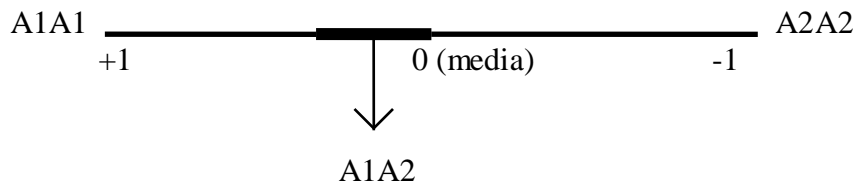
En la actualidad los cruzamientos (Braun y Cervellini, 2010) se utilizan regularmente en las empresas porcinas con dos propósitos:

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 (Braun y Cervellini, 2010):



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. En el cuadro 8 se expresan los porcentajes de heterosis directa y materna de algunos caracteres de importancia económica.

Cuadro 8: porcentajes de heterosis directa y materna de algunos caracteres de importancia económica

	%	<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

Fuente: Braun y Cervellini, 2010.

En el cuadro 9 se señalan el promedio en porcentaje valor de heterosis en caracteres reproductivos de razas porcinas.

Cuadro 9: promedio en porcentaje valor de heterosis en caracteres reproductivos de razas porcinas

Tabla 7.2. P Efectos de la heterosis en caracteres reproductivos en las diferentes razas porcinas.		
CARÁCTER	VALOR DE HETEROSIS	NÚMERO DE ESTIMACIONES (TRABAJOS)
HETEROSIS MATERNA		
Edad a la pubertad (días)	-11.3	13
Tasa de ovulación	0.52	7
Tasa de concepción (%)	3.0	9
Tamaño de camada		
a los 30 días de gestación	0.73	3
al nacimiento	0.66	11
a los 21 días	0.66	9
al destete	0.84	9
Tasa de supervivencia embrionaria (%)	6.7	3
Lechones destetados (%)	5.0	3
Peso de la camada (kg)		
al nacimiento	0.93	9
a los 21 días	5.04	7
a los 42 días	15	3
HETEROSIS DE LA CAMADA		
Tamaño de camada		
a los 30 días de gestación	0.39	4
al nacimiento	0.24	47
a los 21 días	0.30	31
al destete	0.49	16
Peso de la camada (kg)		
al nacimiento	0.59	33
a los 21 días	2.47	29
a los 42 días	13.35	12

Fuente: Rothschild, M. and Bidanel, J. 1998. Actualizado de Sellier (1976), Johnson (1981) y Gunsett y Robinson (1990)

Fuente: Brunori, *et al.*, 2009.

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?

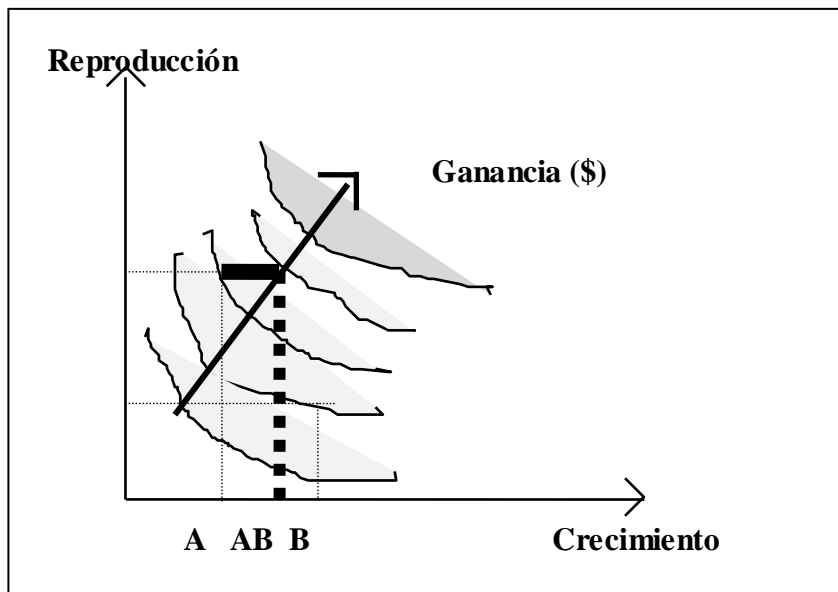
De acuerdo a Cardén (1999 y 2000), es el beneficio económico que se obtiene de un cruzamiento, independientemente que haya o no heterosis biológica.

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 figura 9:

Figura 9: Función de ganancia en relación a los objetivos de selección de reproducción y crecimiento



Fuente: Braun y Cervellini, 2012.

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 especializada 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 (Braun y Cervellini, 2010): 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*:

macho AA x hembra BB

AB x macho CC

Progenie comercial: $\frac{1}{2}$ AC y $\frac{1}{2}$ BC
que es 100% heterocigota pero
solamente por el origen racial

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 reproductor sea reactor negativo a PRRS en Europa, de modo que siempre se está en riesgo, incluso en los países de punta.

b) Sistemas continuos o rotativos: Se usan mucho en USA y poco en Europa. La base consiste en que sólo se introducen machos en el establecimiento y las hembras se reponen del propio rodeo comercial que va al mercado. Entre ellos: 1) *simple con dos razas*

macho AA x hembra BB

C1 x macho BB

C2 x macho AA

C3

	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

Fuente: Braun y Cervellini, 2010.

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. En las figuras 10, 11, 12, 13, 14, y 15 se detallan los diferentes tipos de cruzamientos continuos y discontinuos (Lloveras y Goenaga, 2009).

Figura 10: Cruzamiento discontinuo simple

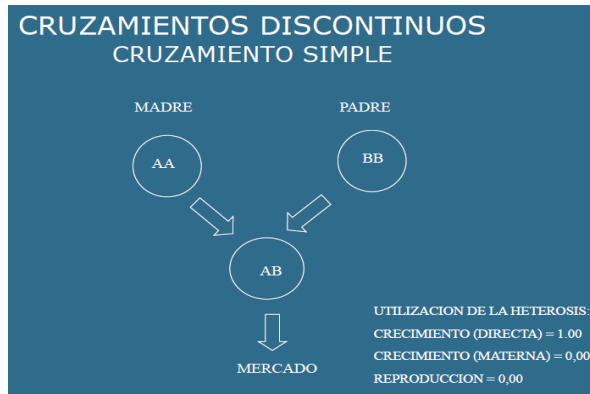


Figura 11: Cruzamiento discontinuo “criss – cross”

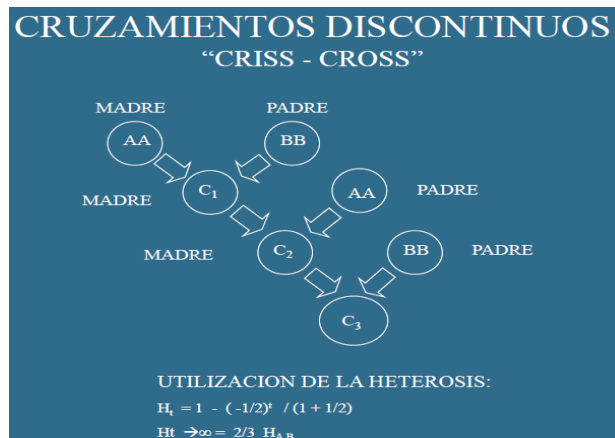


Figura 12: Cruzamiento discontinuo en retorno



Figura 13: Cruzamiento discontinuo triple

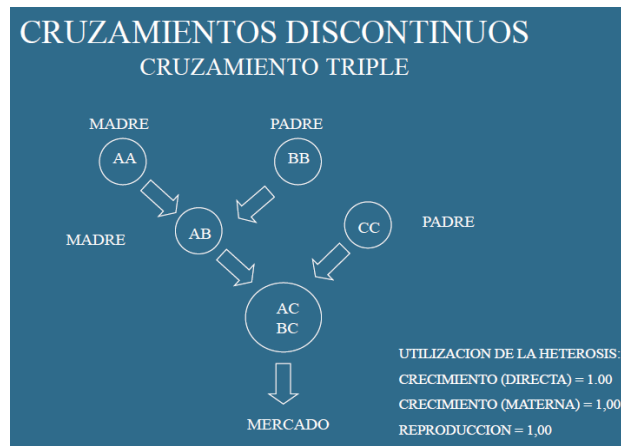


Figura 14: Cruzamiento discontinuo rotativo con tres razas

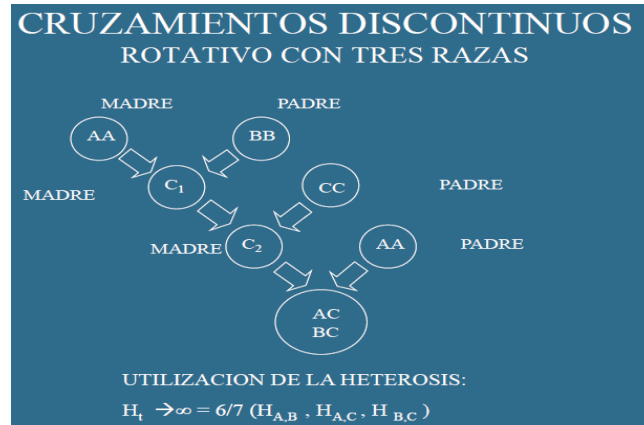
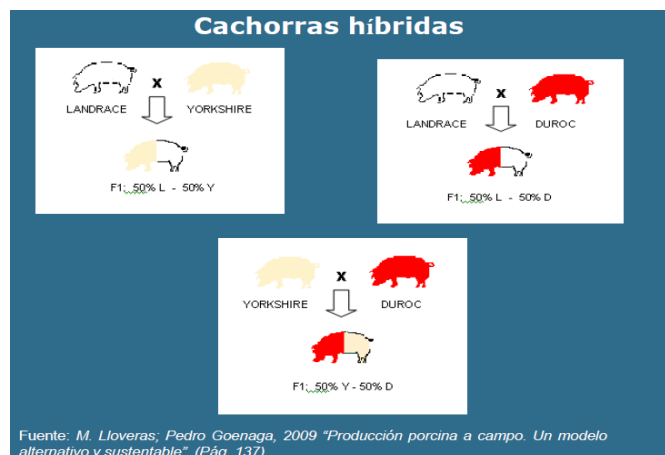


Figura 15: Diferentes Cruzamientos para obtención de hembras Híbridas F1



Organización del mejoramiento en la actualidad

Para la obtención de híbridos como los que se observan en la Fotografía 20, se estructuró mundialmente un programa de mejora genética estandarizado que cada compañía de pone a su disposición para los diferentes tipos de animales de interés económico – zootécnico (Badke *et al.*, 2012).

Fotografía 20: Cerdos híbridos actuales



El objetivo es concentrar el trabajo de selección a un núcleo y de allí transferir al productor el material bajo una organización piramidal (Fotografía 21) (Lloveras y Goenaga, 2009).

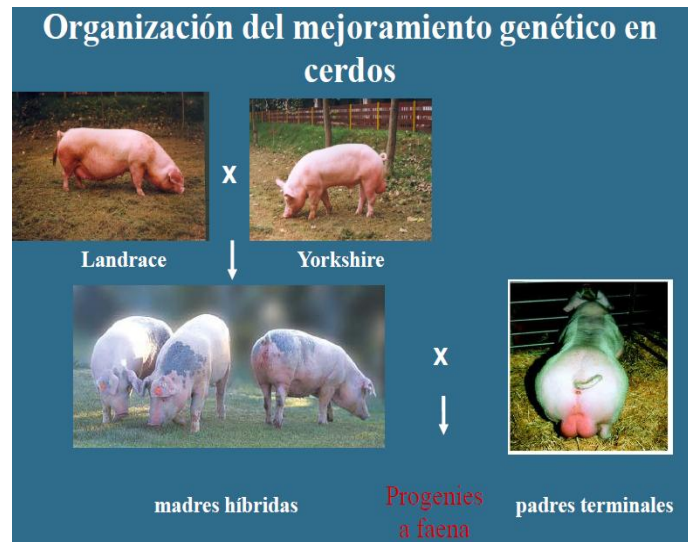
Fotografía 21: Estructura de organización genética piramidal



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 Fotografía 22 la organización actual del mejoramiento genético para obtención de madres híbridas (F1) (Lloveras y Goenaga, 2009).

Fotografía 22: Organización del mejoramiento genético en la actualidad



CONCLUSIONES

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, 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 Selección Genómica, 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 a nuestro entender 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.

Desde el inicio de la producción de cerdos, hasta la actualidad, el objetivo de la producción fue cambiando, según las necesidades de la población, y las condiciones que el mercado fue exigiendo; actualmente, el objetivo, es obtener carnes de mayor calidad (alto % magro, con buenos caracteres organolépticos, etc.).

Sin embargo, la selección de genotipos, en busca de un producto que brinde estas características, trajo como consecuencia, la aparición de genes que deterioran la calidad de la carne (Gen Halotano y RN).

Por otro lado, con el avance de las investigaciones, no solo se han encontrado genes contraproducentes, sino también, genes que influyen positivamente en la calidad, en características organolépticas, que podrían ser utilizados para mejorar la producción.

En la selección genética de cerdos, se deben aplicar caracteres de índole productivos (tasa de crecimiento, % magro, etc.), como aquellos que influyen en los caracteres organolépticos de la carne; es esencial la ausencia del gen del Halotano y RN en la producción de carne, por lo que se recomienda el uso de líneas Duroc, raza utilizada en el mejoramiento de la calidad de la carne, por su óptimo rendimiento, tanto, para la producción industrial, como para el consumo de carne fresca.

Agradecimiento

Dr. Juan Pedro Steibel. Assistant Professor. Statistical Genetics and Genomics. Department of Animal Science & Department of Fisheries and Wildlife. Michigan State University. USA.

Referencias bibliográficas

- Andersson, P.; Tong, S.Y.; Bell, J.H.; Turnidge, J.D.; Giffard, P.M. 2012. Minim Typing A Rapid and Low Cost MSDL Based Typing Toll for Kbebviella pneumonia. PloS One. 7: e33530.
- Avalos, E., Smith, C. 1987. Genetic improvement of litter size in pigs. Animal Production, 44: 153-163.
- Badke, Y.M.; Ernest, C.W.; Schwab, C.; Steibel, J.P. 2012. Estimation of linkage disequilibrium in four pig breeds. BMC Genomics. 13:24
- Bampton, P.R. 1992. Best Lineal Unbiased Predictor for pigs-the commercial experience. Pig News Information, 13(3): 125-129.
- Belonsky, G.M., Kennedy, B.W. 1988. Selection on individual phenotype and Best Lineal Unbiased Predictor of breeding value in a closed swine herd. Journal Animal Science, 66: 1124-1131.
- Brandt, H., Klassen, D.J., Maki-Tanila, A. 1988. BLUP procedures for Australian pig field data. In Proceedings of the 7th Conference of the Australian Association of Animal Breeding and Genetics, p 501-504.
- Brandt, H. 1990. Selection criteria using an animal model in pig breeding. In Proceeding of the European Association of Animal Production, Toulouse, France.
- Brandt, H. 1993. BLUP developments in pig breeding. Archr Tierz, 36(2): 189-195.
- Braun, R.O., Cervellini, J.E. 2010. Producción Porcina: bienestar animal – salud y medio ambiente – etología - genética y calidad de carne – formación de recursos humanos – enseñanza de la disciplina en la universidad. Ed. Nexo diNapóli. 276 pp.
- Braun, R.O., 2012. Respuesta productiva y calidad de carcasa en cerdos alimentados con dietas compuestas por cereales crudos y tratados hidrotérmicamente, durante los

- estados fisiológicos de crecimiento y terminación. Tesis Doctoral para alcanzar el grado académico de Doctor en Ciencias Agropecuarias. UNC. Argentina. 240 pp.
- Brewer, M. S., Jensen, J., Sosnicki, A. Fields B, Wilson, B., McKeith, F. 2002. The effect of pig genetics on palatability, color and physical characteristics of fresh pork loin chops. *Meat Science* 61: 14 – 20.
- Brunori, J; Franco, H.; Cottura, J. 2009. Proyecto Regional: Producción sustentable de carne porcina en Córdoba. INTA Marcos Juárez, Córdoba. 45 pp.
- Cantet, R.J.C., Smith, C. 1991. Reduced animal model for marker assisted selection using BLUP. *Gen. Sel. Evol.*, 23: 221-233.
- Carden, 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.
- Carden, A. Expected genetic changes in pork production. 2000. Conferencia Plenaria. In: Proceedings of 46th International Congress of Meat Science & Technology. Bs As Argentina.
- FANUS. Foro de la alimentación, la nutrición y la salud. 2004. Eventos Técnicos científicos: Producción de carne porcina y alimentación humana. Curso de la Bolsa de Cereales de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- Fernando, R.L., Grossman, M. 1989. Marker assisted selection using BLUP. *Gen Sel Evol*, 21: 467-477.
- Fernando, R.L. 1990. Statistical Problems in Marker Assisted Selection for QTL. In Proceedings of the 4th World Congress on Genetic applied to Livestock Production XIII, p. 433-436.
- Goenaga, P. R. y Lloveras, M. R. 2007. Análisis genético de la carne y la leche. Carne porcina. XXXVI Congreso argentino de genética. Resumen en BAG, Volumen XVIII, (Suplemento) S11. Pergamino, Buenos Aires.
- Goenaga, P. R.; Lloveras, M. R.; Améndola, C. 2008. Prediction of lean meat content in pork carcasses using the Hennessy Grading Probe and the Fat-O-Meater in Argentina. *Meat Science* 79: 23 – 31.
- Graser, H.U., Klassen, D.J. 1988. Cost and technology involved in estimating breeding values for the pig industry. In Proceedings of the 7th Conference of the Australian Association of Animal Breeding and Genetics, p 214-218.

- Graser, H.U., Smith, S.P., Tier, B. 1987. A derivative free approach for estimating variance component in animal models by Restricted Maximum Likelihood. *Journal Animal Science*, 64: 1362-1370.
- Groeneveld, E.M., Kovac and T. Wang, 1990. PEST a general purpose BLUP package for multivariate prediction and estimation. In *Proceedings of the 4th World Congress on Genetic applied to Livestock Production XIII*, p 488-491.
- Grogan, A.J., Flanagan, M.J. 1987. The use of the BLUP animal model to estimate breeding values of Irish pigs. In *Proceedings of the 38th Annual Meeting of the European Association of Animal Production*, Lisboa, Portugal.
- Harris D.L., D.L., Lofgren, T.S. Stewart and A.P. Shinckel, 1989. Adapting BLUP for timely genetic evaluation. I. Progeny traits in a single contemporary group for each sex. *J Anim Sci* 67:3209-3222.
- Hazel, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28:476-490.
- Henderson, C.R.1988. Theoretical basis and computational methods for a number of different animal models. In *Proceedings of the animal model workshop*, Edmonton, Alberta, Canada. *Journal Dairy Science*, 71(supp.2): 1-16.
- Iglesias, D.H.; Ghezman, G. 2013. Análisis de la cadena Porcina en Argentina. *Estudios socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales*. INTA. N° 12: 173 pp.
- Kuhlers, D.L., Kennedy, B.W. 1992. Effect of culling on selection response using phenotypic selection or BLUP of breeding values in small closed herds of swine. *Journal Animal Science*, 70(8): 2338-2348.
- Lofgren, D.L., Harris, D.L., Stewart, T.S., Shinckel, A.P. 1989. Adapting BLUP for timely genetic evaluation. II. Progeny traits in multiple contemporary group within a herd. *Journal Animal Science*, 67: 3209-3222
- Long, T. 1989. Use of BLUP in selection for growth rate and litter size. In *Manipulating Pig Production II*. *Proceedings of the 2nd Biennial Conference*, Australian Pig Science Association, NSW, Australia, p 217-221.
- Long, T., Brandt, H., Hammond, K. 1990. Breeding value prediction with the animal model for pigs. In *Proceedings of the 4th World Congress on Genetic applied to Livestock Production XV*, p 465-468.

- Lloveras, M. R., Goenaga, P.R., Irurueta, M., Carduza, F., Grigioni, G., García, P., Améndola, C. 2008. Meat quality traits of commercial hybrid pigs in Argentina. *Meat Science*, Volume 79: 3 - 9.
- Lloveras M. R. y Goenaga P. R. 2006. Programa de Mejoramiento Genético de Cerdos INTA MGC. XXXV Congreso Argentino de Genética. Bag (basic & applied genetics) Volumen XVII.
- Lloveras, M.R. y Goenaga, P. R. Genética. 2009. En: Producción porcina a campo un modelo sostenible. Editado por Aparicio Tobar y González Araujo. Caja Rural de Extremadura. 267 pp.
- Manual de Procedimiento. Determinación de los parámetros de calidad física y sensorial de la carne porcina. Ediciones INTA. 2009. 79 pp.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1995. Genetic Evaluation. Terminal Line Program Results. 311 pp.
- Plastow, G.S. et al.; 30 co-autores. 2005. Quality pork genes and meat production. *Meat Science* 70: 17 – 23.
- Sanchez, A. 2013. Selección genómica. Una nueva era para la producción porcina. *Hypor Global Convetion*. UAB. España. 39 pp.
- Suárez, R.; Lomello, V.; Giovannini, F.; Giovannini, N.; Esnaola, E.; Campagna, D.; Silva, P.; Brunori, J.; Braun, R.; Faner, C.; Rossi, D. 2013. Tecnologías de información y comunicación para el desarrollo de la cadena porcina.. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 33; Supl.1: 97-109: 104. ISSN 0326-0550.
- Vries de, A.G., Sorensen, D.A. 1990. Optimization of present pig breeding programmes. In *Proceedings of the 4th World Congress on Genetic applied to Livestock Production XV*, p. 395-404.
- Vries de, A.G., Ham van der Steen, de Roo, G. 1990. Effect of family size in selection and testing in a closed dam line of pigs. *Lives Production Science*, 24: 46-63.
- Visscher, P.M., Thompson, R., Hill, W.G. 1991. Estimation of the genetic and environmental variances for fat field in individual herds and an investigation into heterogeneity of variance between herds. *Lives Production Science*, 28: 273-290.

Páginas de INTERNET consultadas

- www.inta.gov.ar. Producción Porcina en Argentina, Pasado, Presente y Futuro. Ing. Agr. Daniel Papotto, Noviembre del 2006.

- www.inta.gov.ar. Mejora genética de la calidad de la carne porcina. Marcela Lloveras-INTA-EEA. Pergamino.
- www.inta.gov.ar. Genética y calidad de la carne. Lic. Valeria S. Borelli. Sector porcino-INTA-EEA. Las Breñas.
- www.inta.gov.ar. Factores genéticos que afectan la calidad de la carne de cerdo. Ing. Agr. Andres Carden- INTA. Pergamino.
- www.universoporcino.com. Los porcinos también se estresan. Fuente: Agencia universitaria de periodismo científico.
- www.educapalimentos.org. FANUS. Foro de la alimentación, la nutrición y la salud. Curso de producción de carne porcina y alimentación humana- 4 Y 5 de noviembre de 2004.
- www.veterinaria.org. REDVET- Revista electrónica de veterinaria- 2008, volumen IX, N° 5. Comportamiento productivo de cerdos portadores del gen del halotano en condiciones medioambientales no controladas.
- Detección de QTLs de importancia económica y análisis de genes- Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.