

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO PREDESTETE  
DEL GANADO VACUNO DE LA PROVINCIA DE  
CÁDIZ. DESARROLLO DE MODELOS DE  
VALORACIÓN GENÉTICA PARA  
CARACTERES DE PRODUCTIVIDAD GLOBAL  
DEL VACUNO RETINTO PARA EL PESO AL  
DESTETE.**

**Cádiz, Diciembre de 2008**

***GRUPO DE INVESTIGACIÓN MERAGEM (PAI AGR-158)***

Esquemas de selección de razas autóctonas, caracterización y conservación de recursos genéticos animales y de sus sistemas productivos tradicionales

## PERSONAL QUE HA DESARROLLADO EL ESTUDIO

<b>COORDINACIÓN</b>	<b>J. M. Jiménez</b>	<b>Jefe de Servicio del CEAG Diputación de Cádiz</b>
	<b>A. Molina</b>	<b>Director del Grupo de Investigación Meragem Universidad de Córdoba</b>
<b>INVESTIGADORES</b>	<b>A. Menéndez- Buxadera</b>	<b>Investigador del Centro de Control Pecuario de La Habana (Cuba) Profesor invitado Universidad de Córdoba</b>
	<b>C. Avilés</b>	<b>Investigadora del Grupo Meragem</b>
	<b>F. Salado</b>	<b>Veterinario responsable del rebaño de Retinto del CEAG</b>
	<b>F. Álvarez</b>	<b>Veterinario Controlador de la Asociación de Criadores de la Raza Retinta</b>
	<b>C. Medina</b>	<b>Técnico Informático del Grupo Meragem</b>

## INDICE

<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO. ....</b>	<b>6</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS. ....</b>	<b>9</b>
MATERIAL ANIMAL UTILIZADO .....	9
OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS UTILIZADAS. ....	10
PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS .....	12
DESARROLLO DEL MODELO DE REGRESIÓN ALEATORIA PARA EL CRECIMIENTO AL DESTETE.....	12
ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES PARTOS DE LA VACA. .....	13
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ACUMULADA A CADA EDAD DE LAS REPRODUCTORAS .....	14
PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PARA APLICAR MODELOS DE NORMA DE REACCIÓN. ....	14
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
ANÁLISIS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS RETINTOS HASTA EL DESTETE. ....	16
ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES PARTOS DE LA VACA...25	
ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ACUMULADA A LO LARGO DE LA VIDA PRODUCTIVA DE LAS REPRODUCTORAS .....	31
APLICACIÓN DE MODELOS DE NORMA DE REACCIÓN: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD GENÉTICA DE ADAPTACIÓN AL STRESS CLIMÁTICO ...40	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ESTE ESTUDIO .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>47</b>
ANEXO I. GANADERÍAS GADITANAS UTILIZADAS PARA ESTE ESTUDIO. .....	47
ANEXO II. DESARROLLO MATEMÁTICO RESUMIDO DE LOS MODELOS DE RR UTILIZADOS PARA ESTE ESTUDIO.....	48
ANEXO III. EJEMPLO DE LA VALORACIÓN GENÉTICA DE UNA REPRODUCTORA TIPO .....	52
ANEXO IV. RELACIÓN DE SEMENTALES CON VALORACIÓN GENÉTICA POSITIVA PARA PRODUCTIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD ACUMULADA DE SUS HIJAS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### FIGURAS

Figura 1. Evolución del índice <i>THI</i> y <i>RS</i> a lo largo de la trayectoria de edad al destete en las dos categorías climáticas empleadas para el estudio del stress térmico en el vacuno Retinto de la provincia de Cádiz.....	11
Figura 2. Número de pesadas utilizadas para el análisis de la curva de crecimiento en terneros Retintos.....	16
Figura 3. Curva de crecimiento predestete en animales de la raza Retinta (pesos ajustados).....	17
Figura 4. Evolución de los componentes de (co)varianza para efectos genéticos directos y maternos en la trayectoria del período predestete de los terneros Retintos.....	18
Figura 5. Evolución de la heredabilidad para efectos genéticos directos y maternos y su correlación a lo largo del periodo predestete en terneros Retintos.....	19
Figura 6. Correlación genética entre los efectos genéticos directos y maternos para el peso a diferentes edades y el peso a los 180 días en la raza Retinta.....	21
Figura 7. Representación de las relaciones entre los EBV para peso a 180 días estimados mediante metodología BLUP y mediante Regresión Aleatoria.....	22
Figura 8. Variabilidad en Valor Genético para peso vivo a 180 días en animales Retintos estimado por el procedimiento BLUP y por RRM.....	23
Figura 9. Curva de valores genéticos de 8 terneros con igual valor genético a los 180 días (directo gráfica (a), y materno gráfica (b)).....	24
Figura 10. Productividad de las vacas Retintas evaluada por el peso al destete del ternero obtenido en cada parto.....	26
Figura 11. Evolución de la correlación genética entre el peso a los 180 días de los terneros obtenidos en el primer y segundo parto y los restantes partos de las vacas Retintas.....	28
Figura 12. Histograma de frecuencias de los Valores Genéticos estimados para kgs de ternero a los 180 días en cada parto de vacas Retinto (sólo se muestran los 4 primeros partos).....	29
Figura 13. Variación en la forma de VG vacas evaluadas por kgs de ternero por partos.....	30
Figura 14. Evolución de la productividad media acumulada en la raza Retinta....	31
Figura 15. Productividad media acumulada de las reproductoras de las diferentes explotaciones retintas analizadas.....	32
Figura 16. Evolución de la productividad acumulada de las reproductoras de las diferentes explotaciones Retintas analizadas.....	33
Figura 17. Evolución de la heredabilidad para el carácter peso destete acumulado	

(P180) a lo largo de la vida de la reproductora de la raza Retinta.....34

Figura 18. Evolución de la correlación genética entre la productividad acumulada de las reproductoras a cada edad con la productividad a los 14 años en el vacuno Retinto.....35

Figura 19. Histograma de frecuencias de los Valores Genéticos estimados para la productividad acumulada (kgs de ternero destetado por mes de vida de la vaca) a lo largo de la vida productiva de las vacas Retintas (sólo se muestran 4 edades).....37

Figura 20. Variación en la curva de evolución del potencial genético de las vacas evaluadas por su productividad acumulada (kg ternero destetado por mes de vida de la reproductora) en vacas Retintas.....38

Figura 21. Evolución del peso vivo en la trayectoria de la edad predestete y en cada clase climática.....40

Figura 22. Heredabilidad y Correlaciones Genéticas del peso vivo en toda la trayectoria del período predestete en las dos épocas climáticas.....42

#### TABLAS

Tabla 1. Correlaciones Genéticas entre los efectos genéticos directos (encima de la diagonal) y maternos (debajo de la diagonal) para el peso vivo a diferentes edades predestete en la raza Retinto.....20

Tabla 2. Heredabilidad ( $h^2$ ) para efectos directos y maternos y correlación entre ambos para el peso a 180 días de edad en ganado Retinto, estimados mediante metodología BLUP y mediante Regresión Aleatoria.....21

Tabla 3. Resultados comparativos de la selección de los mejores 300 animales seleccionados por su VG para el peso a 180 días según la metodología BLUP y la RRM.....23

Tabla 4. Heredabilidad (en la diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para el peso a los 180 días de los terneros obtenidos en los diferentes partos de la raza Retinta....27

Tabla 5. Heredabilidad (en la diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y fenotípicas (debajo de la diagonal) para la variable productividad media acumulada en la raza Retinta.....34

Tabla 6. Correlaciones genéticas entre la variable productividad media acumulada y peso del ternero a cada parto en la raza Retinta.....36

Tabla 7. Correlaciones fenotípicas entre la variable productividad media acumulada y peso del ternero a cada parto en la raza Retinta.....36

## JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

El sistema de producción de carne con el ganado extensivo le brinda una importancia marcada al peso al destete (PD) de los terneros como predictor de la evolución del peso al año y como componente esencial de la productividad de la vaca. Por ello este rasgo se está utilizando como principal criterio de selección en el esquema de mejora que llevan a cabo en las diferentes razas de vacuno extensivo español. Este es completado con otros caracteres que miden el comportamiento en cebo, la morfología o la aptitud en matadero.

Pero hasta el momento no se ha abordado directamente la mejora de la productividad global de las reproductoras, a pesar de que esta es el componente esencial para la rentabilidad de las explotaciones de vacuno extensivo.

Entre las causas que justifican que no se haya podido abordar estos caracteres en el vacuno de carne podríamos citar la complejidad de los factores ambientales que afectan a algunos de los parámetros que intervienen en esta productividad, especialmente la edad al primer parto o el intervalo entre partos. La heredabilidad de estas variables reproductivas suele ser de una magnitud demasiado baja (en torno a 0'1) para introducirlas como criterios de selección en los esquemas de valoración. Por otra parte, los parámetros desarrollados en el vacuno de leche, tales como la longevidad, exigen monitorizar o censurar los datos de las reproductoras que no han llegado al final de su vida productiva.

Para resolver ambos problemas se pretende, una vez analizada la curva de crecimiento del ternero retinto hasta el destete, poner a punto la metodología de Regresión Aleatoria para la valoración de los caracteres relacionados con la "Productividad". En este sentido se han desarrollado varios indicadores de este parámetro (ICAR, 2008<sup>1</sup>, BIF, 2006<sup>2</sup>) que tiene en común la estimación de los kilos de carne destetados a una edad determinada por cada reproductora, reflejando por lo tanto los parámetros reproductivos de la hembra como el crecimiento de sus crías. La utilización de esta variable, además de su relación directa con la rentabilidad de la explotación del vacuno extensivo, presenta la ventaja de presentar unos valores de heredabilidad *a priori* intermedios entre ambos grupos de variable, y por lo tanto es lo suficientemente elevada para poder incluirla en las valoraciones genéticas.

Por otra parte, en el momento actual se ha puesto a punto la metodología denominada Regresión Aleatoria (equivalente al Test Day del vacuno lechero), que dadas sus características (Molina y cols. 2007<sup>3</sup>) permite estimar la productividad acumulada hasta la edad actual de cada reproductora, sin exigir

---

<sup>1</sup> *International Committee for Animal Recording*, Roma, Italia.

<sup>2</sup> BIF. 2006. Guidelines For Uniform Beef Improvement Programs. Eighth Edition. Beef Improvement Federation, The University of Georgia, USA.

<sup>3</sup> Molina y cols. 2007. Random regression model of growth during the first three months of age in Spanish Merino sheep. *J. Anim Sci.*, doi: 10.2527/jas.2006-647

modelos de supervivencia o controlar los animales hasta el final de su vida productiva.

La hipótesis de partida de que existe una variabilidad genética dentro de la población para la evolución de este parámetro (kgs de carne destetada a cada edad) a lo largo de la vida de los animales es conocida de forma empírica por los propios ganaderos que reconocen la existencia de animales muy productivos en los primeros años de vida frente a otros más longevos que son capaces de mantener una productividad media a más largo plazo.

El análisis económico de la dualidad entre animal muy productivo durante pocos años frente a otro que es capaz de mantener un nivel aceptable de producción durante más años, se ha abordado en los últimos años en el vacuno de leche. En una situación de crisis como la actual, con precios de la carne con una fuerte tendencia a la baja y costes en alimentación, mano de obra y financiación muy elevados, se hace imprescindible para la supervivencia de muchas explotaciones del vacuno de carne este análisis.

En este sentido, el poder contar con la curva de valoración genética desde el inicio de la posible vida productiva (pe. a los 3 años) hasta el final de la misma (pe. los 14 años), abre la posibilidad para ganaderos y técnicos de seleccionar el tipo de animal que más se adapta a las características de su explotación (pe. cantidad de pastos disponibles, coste de llevar la novilla a su primer parto, precio de las vacas de desvieje etc.)

Por otra parte, el vacuno de carne explotado en condiciones extensivas va a estar sometido a una situación de stress térmico en un futuro cercano, consecuencia por una parte del cambio climático que estamos empezando a sufrir, y por otro por la necesidad de una mayor extensificación para abaratar los costes productivos mediante la disminución de la necesidad de los insumos (pienso). En este sentido una modificación de las técnicas estadísticas anteriores (*Norma Reacción*) permite evaluar la interacción genotipo-ambiente (capacidad de adaptación diferencial de determinados animales a distintas condiciones ambientales). En este estudio hemos realizado una primera aproximación a la resolución de este problema mediante el análisis de algunos de los factores climáticos que más influencia pueden presentar a priori en la capacidad de crecimiento de los animales (bien directamente o bien a través de la producción lechera de las madres). Con esta aproximación se pretende hacer una propuesta de recogida permanente de la información necesaria para la evaluación genética que tenga en cuenta esta posible Interacción genotipo-ambiente (I gxa).

Por lo tanto los objetivos concretos que se han abordado en este estudio técnico puede resumirse en:

1. Presentar una versión de la aplicación de nuevas alternativas de evaluación genética mediante los sistemas de regresión aleatoria a datos de crecimiento del ternero Retinto en su etapa predestete (crecimiento en finca).
2. Estudiar las relaciones entre la trayectoria de edad de la reproductora y el peso vivo de los terneros que desteta, evaluando la posibilidad de utilizar los primeros partos para la preselección de las vacas madres de futuros reproductores.
3. Realizar la puesta a punto de los modelos de valoración genética para la variable *productividad global acumulada* de las reproductoras.
4. Efectuar un estudio preliminar de la importancia de factores climáticos que puedan dar lugar a la aparición de problemas de interacción genotipo ambiente (Iga) en la población del vacuno Retinto de la provincia de Cádiz.



## MATERIAL Y MÉTODOS.

### MATERIAL ANIMAL UTILIZADO

Para ello hemos utilizado las bases de datos de la raza Retinta, prototipo de raza extensiva del sudoeste Español y raza mayoritaria en la provincia de Cádiz, y en la que se cuenta con un núcleo de selección con ganaderías con más de 15 años de controles sistemáticos (Anexo I)

Para llevar a cabo esto es necesario la definición de la “vida productiva” que mejor se adapte a las características del vacuno extensivo de la provincia de Cádiz y la puesta a punto de una metodología de valoración genética mediante Regresión Aleatoria que permita estimar el valor genético de cada reproductor desde el inicio de su vida productiva hasta el posible final de la misma. Dada la complejidad de estos modelos, será necesario realizar una labor de depuración muy estricta de la base de datos productiva a utilizar, seleccionando para la puesta a punto del sistema, aquellas explotaciones, y dentro de estas aquellas vacas, que cuenten con todo el historial reproductivo (edad al primer parto y de cada uno de los posteriores partos), el control de crecimiento de todos sus terneros y que hayan recogido de forma sistemática toda la información ambiental necesaria para la correcta obtención de los factores fijos en los modelos de valoración.

En la base de datos original se disponía de 16141 registros individuales de peso vivo entre 1 y 245 días de edad, de un total de 5922 terneros nacidos entre Agosto de 1988 hasta Mayo de 2007 en un total de las 14 ganaderías de Cádiz más representativas y que presentaban los historiales reproductivos más completos.

Esta base de datos fue depurada bajo diferentes tipos de criterios dando lugar a tres bases de datos:

- Una depurada para su utilización en el estudio de crecimiento predestete de los terneros (a la que denominaremos *RRMdatos*) con 15844 registros de 5907 terneros (1-5 pesos por animal, media= 2.68) hijos de 1736 vacas y 129 sementales. El 49.1% de las madres y el 42.6% de los sementales estaban representados en el vector de datos (fueron controlados en su etapa de ternero), lo cual se considera una estructura adecuada a los efectos de los objetivos generales de este estudio. El pedigrí fue extendido con toda la información disponible en el Libro Genealógico de la raza, obteniendo un total de 8468 animales.

- Una segunda base de datos (*PROdatos*) incluyó todos los partos controlados de los anteriores reproductores, eliminándose aquellas reproductoras en las que se hubiesen detectado errores (falta de algún parto, o de algún ternero controlado) en los historiales reproductivos. El número total de vacas utilizadas ha sido de 1656 con 5614 partos analizados con un número total de 2997 animales en el pedigrí.
- Finalmente, fue necesario crear una tercera base de datos (*CLIdatos*) con los registros productivos de los animales nacidos entre Septiembre de 2000 y el mes de Mayo de 2008 dado que sólo se contaba con registros climáticos en este periodo de tiempo. Esta base de datos contenía los registros de crecimiento de 3162 terneros (7753 registros de peso vivo) hijos de 85 sementales y 1249 vacas. En este caso el pedigrí correspondiente contenía un total de 6053 animales.

## OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS UTILIZADAS

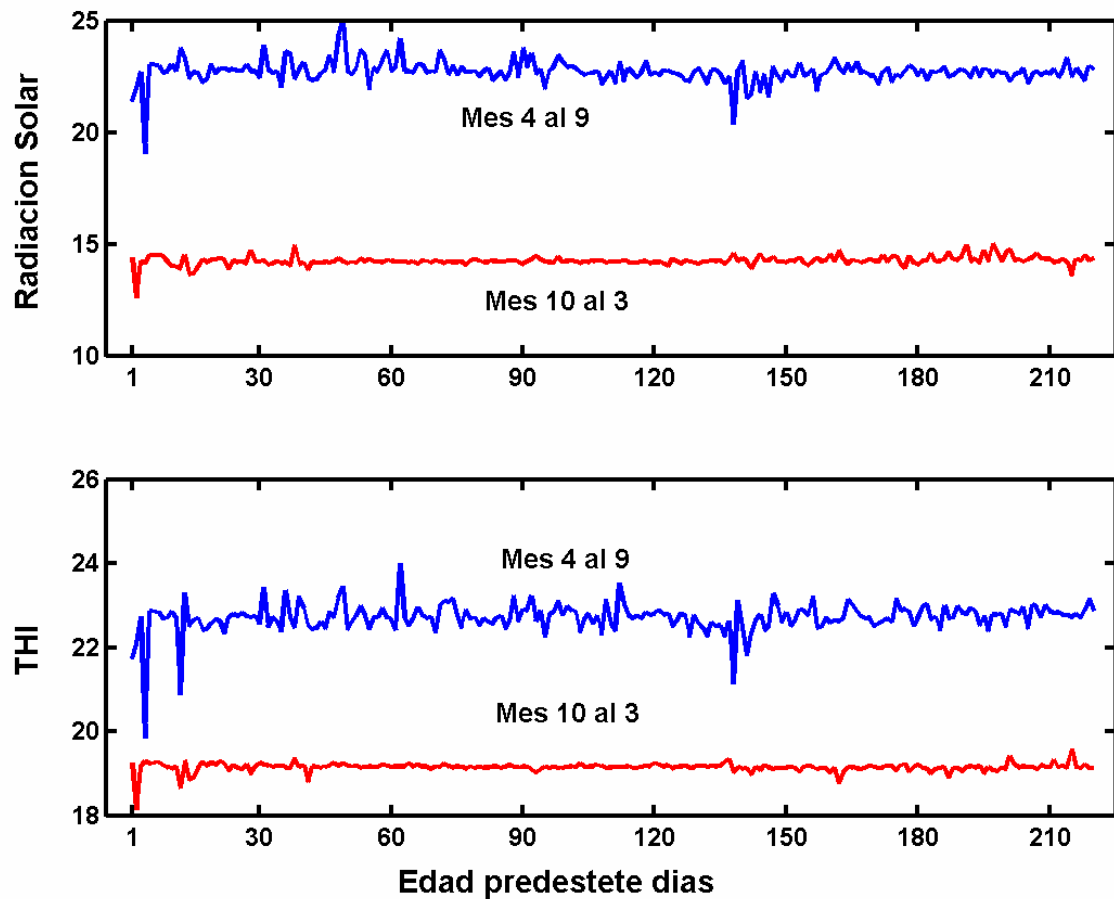
Las variables climáticas fueron obtenidas a partir de los datos de la estación meteorológica más próxima a cada explotación (4 diferentes). En este caso sólo estaban disponibles los datos climáticos entre Septiembre de 2000 hasta el mes de Mayo de 2008. Como variables indicadora de stress climático se creó un índice bien conocido:

$$THI = [T - (0.55*(1-RH))* (T - 14.4)],$$

donde *T* es la *Temperatura Ambiental Máxima* (en °C) y *RH* es la *Humedad Relativa (%) Promedio*.

También se tomó en consideración la *Radiación Solar (RS)* medida en MJ/m<sup>2</sup> diario. Cuando se estudió la evolución mensual de ambos indicadores climáticos se constató que prácticamente existen dos épocas con muy poca variación mensual en *THI* y *RS* lo cual se puede apreciar en la figura 1. Los animales cuyos registros de peso vivo predetete se realiza entre los meses de Abril y Septiembre están sometidos a un stress por calor mayor con respecto a los que el peso vivo se registra entre Octubre y Marzo. La distribución de frecuencia de la cantidad de registros representados a todo lo largo de la trayectoria del período del destete (de 1 a 240 días de edad) fue bastante homogénea en cada una de estas dos categorías climáticas (datos no mostrados).

Figura 1. Evolución del índice *THI* y *RS* a lo largo de la trayectoria de edad al destete en las dos categorías climáticas empleadas para el estudio del stress térmico en el vacuno Retinto de la provincia de Cádiz.



## PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS

### DESARROLLO DEL MODELO DE REGRESIÓN ALEATORIA PARA EL CRECIMIENTO AL DESTETE

Para realizar el análisis del crecimiento al destete en explotación se comenzó con el estudio previo de los principales factores que afectan al peso al destete del ternero (utilizando para ello el peso tipificado a los 180 días siguiendo el procedimiento oficial en la raza Retinta). Posteriormente fue realizada la estimación de los valores genéticos siguiendo metodología BLUP siguiendo un modelo Animal clásico para la variable *P180* (Peso a los 180 días). Este incluía como efectos fijos la *ganadería-año-época de parto*, *sexo del ternero* y *número de parto de la madre* y como efectos aleatorios el animal, madre y la covarianza efecto directo-materno así como los efectos de ambiente permanentes maternos. Esto permitió estimar la  $h^2$  para el *P180* directo, materno y la correlación entre ambos.

No obstante, como discutiremos posteriormente, con este procedimiento clásico se realizan dos asunciones importantes, que el crecimiento del ternero es básicamente lineal a lo largo de su crecimiento predestete, y que los pesos de los diferentes terneros a esta edad tipo se corresponden con el mismo rasgo en toda la vida de la madre (estadísticamente equivale a admitir que la correlación genética entre los pesos de los terneros de los diferentes partos de cada vaca es de 1).

Posteriormente, se puso a punto la metodología de Regresión Aleatoria para explicar el crecimiento hasta el destete de los terneros. Esta metodología presenta diversas ventajas sobre el método anterior, una de las principales es que no analiza una variable resumen de este crecimiento (*P180*), sino que trabaja directamente con la curva de crecimiento. Este hecho tiene varias consecuencias directas, permite una mejor estimación del peso en cada punto de la curva (la precisión de esta estimación se basa en las correlaciones entre los diferentes pesos de cada animal), no exige el proceso de tipificación (que siempre está sometido a un cierto grado de error), y lo que es más importante, permite la estimación de los valores genéticos en cada punto de la curva de crecimiento de los animales. Una descripción más detallada de las características de esta metodología puede consultarse en Menéndez-Buxadera, y cols. (2007)<sup>4</sup>.

En este modelo de *RRM* se incluyeron los efectos fijos de *ganadería-fecha de control*, *sexo del ternero*, *numero de parto* de la madre y una covariable cúbica del *peso vivo de cada ternero sobre la edad*. La resolución de este modelo

---

<sup>4</sup> Menéndez-Buxadera, A.; Molina, A.; Arrebola, F.; Romero, F.; Serradilla, J.M. 2007. Las nuevas metodologías genéticas en la mejora caprina: La valoración del *día de control* y la *norma-reacción* utilizando modelos de regresión aleatoria. I Congreso Nacional de Zootecnia. Libro de Actas del I Congreso Nacional de Zootecnia. Octubre 2007. Madrid.

permitió estimar la curva de heredabilidades directas, maternas y la correlación directo-materna ( $Rh^2d$ ,  $Rh^2m$  y  $RRdm$  respectivamente). Con la solución de este modelo se pudo estimar el Valor Genético de todos los animales para ambos efectos genéticos (se denominaron  $RVGd$  y  $RVGm$ ). En este caso las estimaciones de parámetros y de valores genéticos se llevaron a cabo para todos los puntos de la trayectoria de edad del período predestete.

En el anexo II se presenta en notación matricial la resolución del modelo de RR de mejor ajuste en esta raza.

### **ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES PARTOS DE LA VACA**

El estudio de las relaciones entre la trayectoria de edad de la reproductora y el peso vivo de los terneros que desteta, y la evaluación del poder predictivo de los resultados de los terneros de los primeros partos de cada vaca en el potencial de los posteriores terneros de esa reproductora (viendo la posibilidad de utilizar los primeros partos para la preselección de las vacas madres de futuros reproductores) se puso a punto un procedimiento de Regresión Aleatoria en el que la variable P180 (Peso a los 180 días del ternero) es analizada en función de la covariable aleatoria *número de parto* (desde el primer hasta el quinto parto). Los efectos ambientales incluidos fueron ganadería-año y época de parto, sexo del ternero, número de partos o edad al parto de la vaca y los efectos de la vaca que produce el ternero y el padre de este como efectos genéticos.

La formulación matemática es semejante a la presentada en el Anexo II por lo que no será incluida en este informe.

Una vez determinado el modelo de máximo ajuste en este caso polinomio de primer orden se procedió a la estimación de la función de la heredabilidad de los efectos genéticos directos maternos y las correlaciones genéticas entre los diferentes partos.

Finalmente se estimó la correlación entre los valores genéticos obtenidos y los valores genéticos estimados mediante la metodología BLUP, siendo una primera estimación entre productividad y peso vivo de los animales.

## **ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ACUMULADA A CADA EDAD DE LAS REPRODUCTORAS**

Para el análisis de la productividad acumulada de las reproductoras se calcularon los kg de ternero destetado (peso a los 180 días corregido para el sexo del ternero, la época de nacimiento y el tipo de parto) por mes de vida de cada vaca. Esta variable por lo tanto incluye la información productiva de los terneros destetados, la edad al primer parto y los periodos interpartos hasta cada edad (3 hasta 14 años)

El modelo de Regresión Aleatoria empleado en este caso incluía los mismos efectos descritos previamente. También en este caso se obtuvieron los parámetros de heredabilidad, y las correlaciones genéticas entre la productividad acumulada hasta cada edad. Esto permitió obtener la curva de valores genéticos de productividad para cada animal del pedigrí.

## **PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PARA APLICAR MODELOS DE NORMA DE REACCIÓN**

En este caso fue necesario resolver un modelo de Regresión Aleatoria bicarácter ya que fue necesario estimar los componentes de varianza en toda la trayectoria de edad predestete y del índice de stress térmico definido previamente. Los componentes de varianza y los parámetros genéticos ya mencionados (heredabilidad y correlaciones genéticas) fueron estimados en toda la trayectoria de edad predestete para cada una de las dos clases de stress térmico (ver figura 1). La correlación entre ambas categorías de stress climático brinda una primera indicación de interacción genotipo ambiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el crecimiento o desarrollo de un animal (también durante la lactancia y la carrera reproductiva de una vaca) es lógico asumir que su trayectoria presente una respuesta armoniosa, sin los picos que se encuentran en los análisis multicares. Para resolver estos problemas se ha introducido un “*enfoque dimensional infinito*”, en el cual se asume que el fenotipo de un animal es una función continua del tiempo, de manera que para su más adecuada descripción, este debe ser registrado un número infinito de veces, (Kirpatrick et al., 1990).

Estos autores señalan múltiples ventajas a este punto de vista:

1. Predice la evolución del crecimiento total sin asumir nada a priori sobre el tipo de curva necesaria para ajustar los datos.
2. Proporciona un método para analizar el patrón de variación genética que puede revelar cambios potenciales en la forma de la trayectoria del crecimiento.
3. Reduce los sesgos en la estimación de la variación genética, pues no requiere ajustes previos a edad fija.
4. Se toma en consideración el período de tiempo entre las edades en las que se registró el dato.
5. Permite proyectar la evolución de la trayectoria del crecimiento, aún cuando los datos de cada animal son registrados a diferentes edades.
6. Permite disminuir los costos de los controles o hacerlos más eficientes.

Múltiples trabajos se han publicado sobre este tema, aunque les correspondió a Schaeffer y Dekkers, (1994<sup>5</sup>), publicar las bases de un procedimiento general para tratar los registros periódicos mediante lo que se denomina Random Regresión Model (RRM). A partir de esta publicación se han generado una gran cantidad de resultados de aplicación de RRM a datos de la producción de leche, crecimiento, supervivencia, fertilidad, así como estudios de interacción genotipo-ambiente (Schaeffer, 2004<sup>6</sup>). En España, ya se han demostrado todas las ventajas de RRM en ganado vacuno de leche (Rekaya y col., 1999<sup>7</sup>); y de carne

---

<sup>5</sup> Schaeffer, L. & J. Dekkers. 1994. Random regressions in animal models for test-day production in dairy cattle. Proceedings of Fifth WCGA to Livestock Production, Guelph, Canada, pp. 443-446.

<sup>6</sup> Schaeffer LR 2004. Application of random regression models in animal breeding. Livest. Prod. Sci. 86, 35-45.

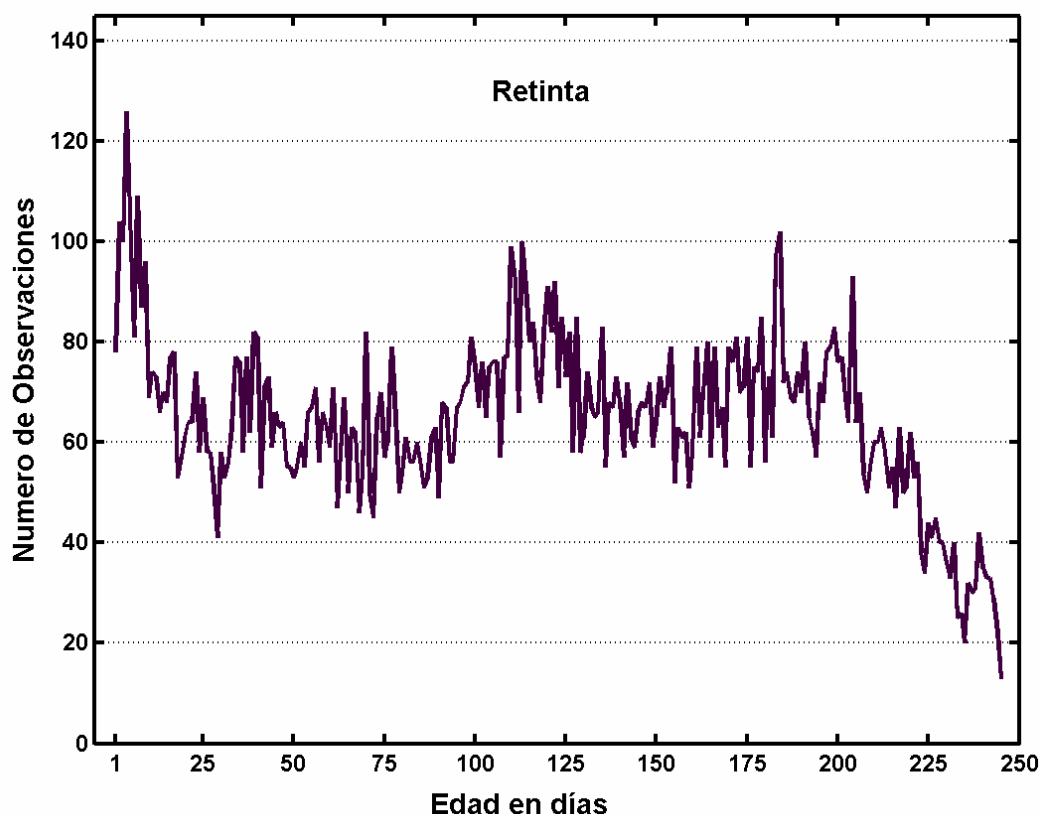
<sup>7</sup> Rekaya R, y cols., 1999. Use of test day yields for the genetic evaluation of production traits in Holstein-Friesian cattle. Livest. Prod. Sci. 57, 203-217.

(Menéndez-Buxadera y col., 2008<sup>8</sup>), ovino lechero (Serrano y col., 2001<sup>9</sup>), y de carne (Molina y col 2006<sup>3</sup>), y caprino (Arrebola, y cols., 2007<sup>10</sup>). Sin embargo sobre crecimiento y análisis de la productividad de la vaca de carne, no existe información sobre el uso de estos procedimientos.

## ANÁLISIS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS RETINTOS HASTA EL DESTETE

En la figura 2 se presenta la distribución de los datos en cada día de edad y en la figura 3 la curva ajustada del peso vivo en hembras y machos retintos hasta el destete.

Figura 2. Número de pesadas utilizadas para el análisis de la curva de crecimiento en terneros Retintos.



<sup>8</sup> Menéndez-Buxadera y col., 2008. Multi-trait and random regression approaches for addressing the wide range of weaning ages in Asturiana de los Valles beef cattle for genetic parameter estimation. *J. Anim. Science*. 86:278-286

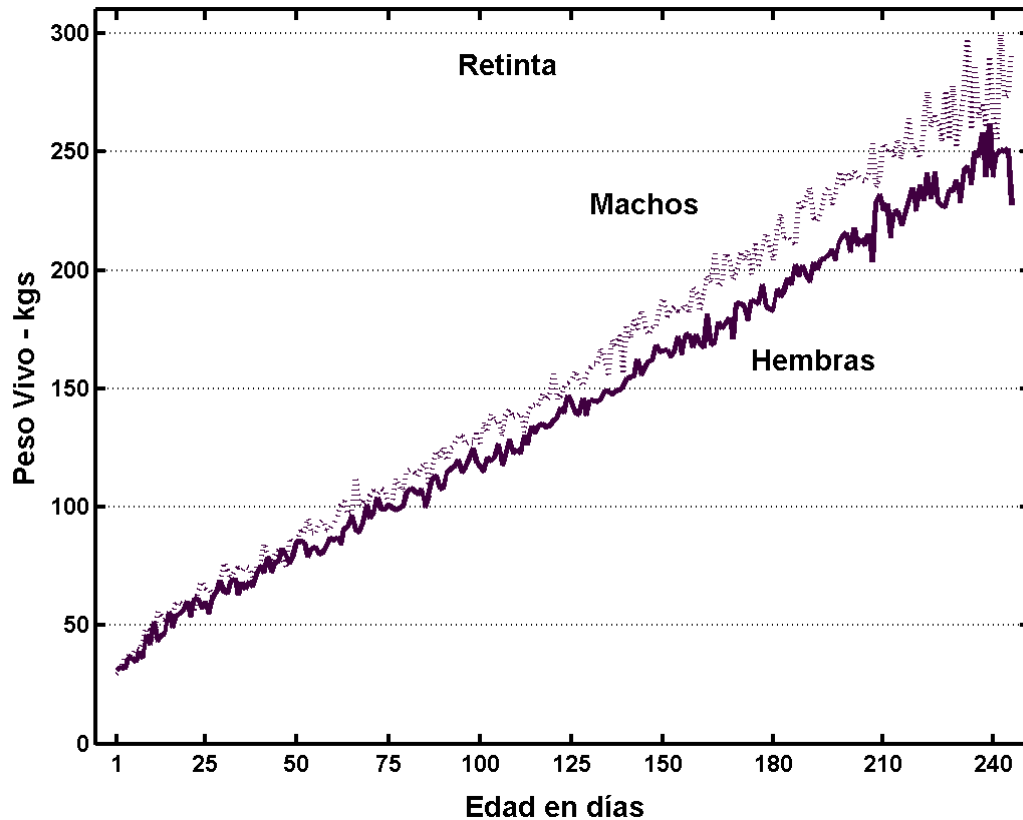
<sup>9</sup> Serrano M, y cols., 2001. Test day models and genetic parameters in Latxa and Manchega dairy ewes. *Livest. Prod. Sci.* 67, 253-264.

<sup>10</sup> Arrebola, F.; Menéndez, A.; Gil, M.J.M; Pliequezuelos, J.; Serradilla, J.M.; Molina, A. 2007. Primera valoración genética en la producción de leche y sus componentes mediante modelos *test day* en el caprino Murciano-Granadino. I Congreso Nacional de Zootecnia. Octubre-2007.Madrid.



Se puede observar como en términos generales cada punto de la trayectoria de edad esta bien representado, lo cual facilita este tipo de análisis longitudinal.

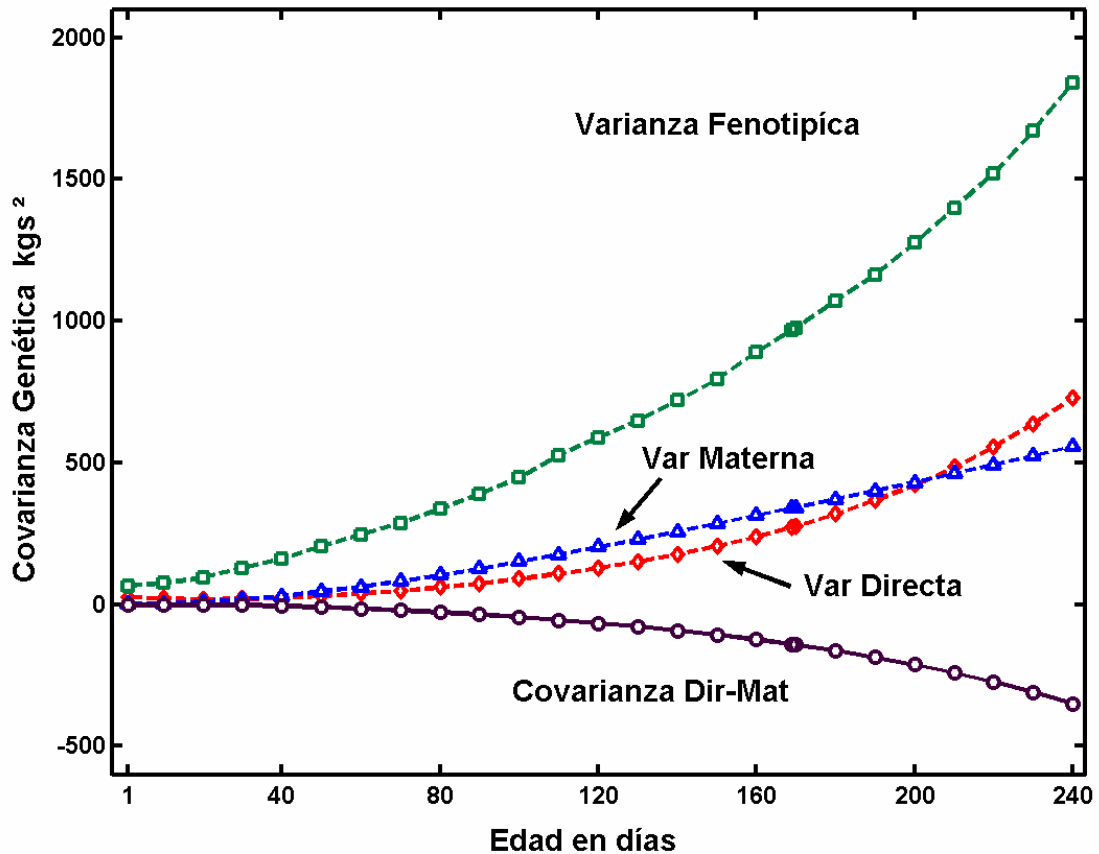
Figura 3. Curva de crecimiento predestete en animales de la raza Retinta (pesos ajustados).



Como se observa en la anterior figura el comportamiento productivo de esta raza es bastante satisfactorio alcanzando aproximadamente 200 kg de peso a 180 días (con ganancias medias diarias de 1 kg en el caso de los machos y superiores a los 900 gr/día en las hembras).

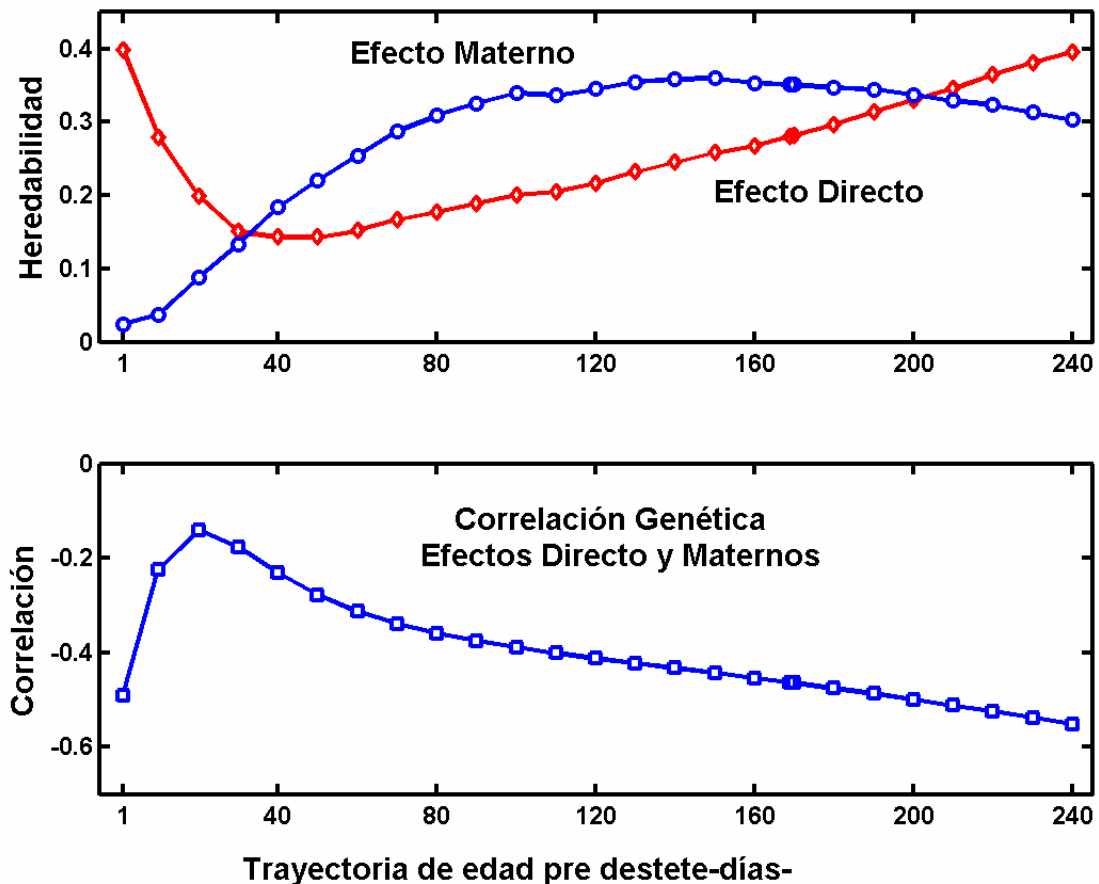
Para la estimación de la curva de parámetros genéticos se ensayaron modelos con diferente orden de ajuste de los polinomios de Legendre, obteniéndose el mejor ajuste con la ecuación cúbica. Los componentes de covarianza estimados se muestran en la figura 4, mientras que en la figura 5 se presentan la evolución de los parámetros genéticos que determinan.

Figura 4. Evolución de los componentes de (co)varianza para efectos genéticos directos y maternos en la trayectoria del período predestete de los terneros Retintos.



Como se puede observar, todos los componentes de varianza se incrementan en forma armónica en la medida que avanza la edad. Tanto los efectos genéticos directos como maternos manifiestan un mismo patrón, mientras que el antagonismo entre efectos directos y maternos se acentúa marcadamente a partir de los 100 días de edad.

Figura 5. Evolución de la heredabilidad para efectos genéticos directos y maternos y su correlación a lo largo del periodo predestete en terneros Retintos.



En la anterior figura se puede observar como la evolución de  $Rh^2d$  y  $Rh^2m$  sigue un patrón diferente. En los primeros 40 días ambos parámetros manifiestan una tendencia totalmente contraria. Los efectos directos disminuyen para después presentar un sostenido incremento hasta los 240 días de edad, mientras que para  $Rh^2m$  es muy cercano a cero a 1 día de edad y después mantiene un marcado aumento al incrementarse la edad, alcanzando a los 200 días los mismos valores la heredabilidad para efectos directos y maternos. Es interesante resaltar que en un gran intervalo del periodo predestete las estimaciones de  $Rh^2m$  son mayores que los  $Rh^2d$ . El antagonismo entre ambos efectos genéticos es muy evidente en toda la trayectoria del período predestete, con una tendencia a incrementar su valor negativo a partir de los 30 días de edad.

Desde el punto de vista de la selección precoz de los animales es de gran importancia la información mostrada en la tabla 1. En ésta se presentan las correlaciones genéticas para efecto directo y materno en toda la trayectoria del período predestete.

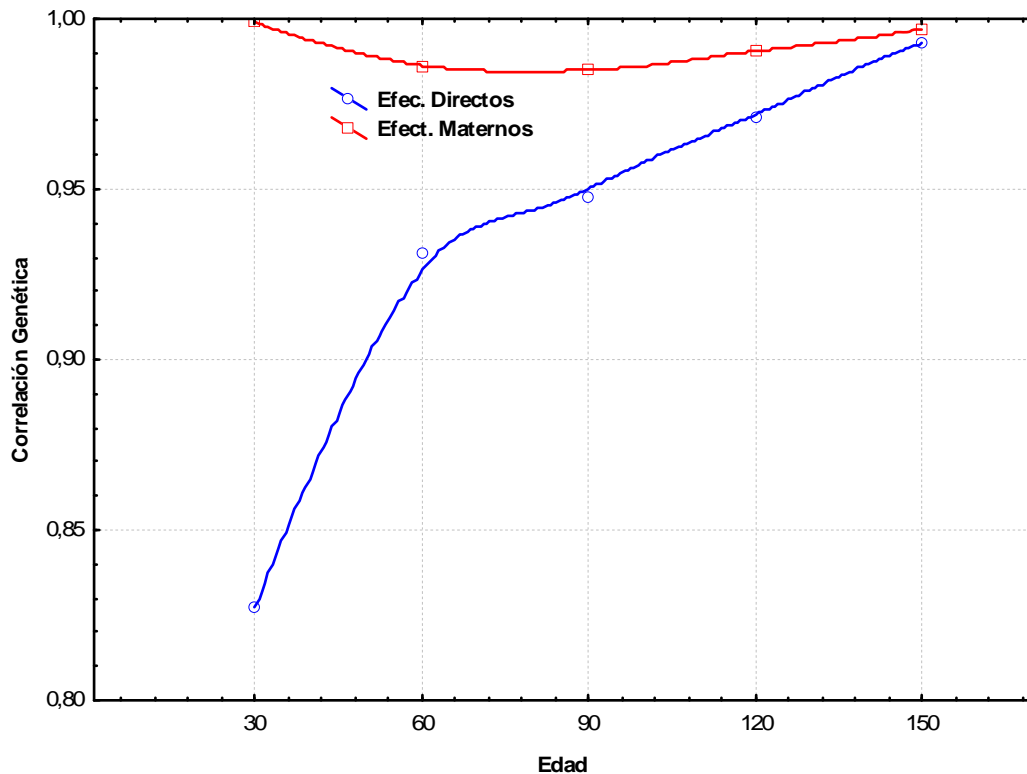
Tabla 1. Correlaciones Genéticas entre los efectos genéticos directos (encima de la diagonal) y maternos (debajo de la diagonal) para el peso vivo a diferentes edades predestete en la raza Retinto.

	Edad de los animales en días								
	1	30	60	90	120	150	180	210	240
1		0.760	0.389	0.265	0.268	0.324	0.399	0.474	0.542
30	0.176		0.892	0.817	0.804	0.814	0.827	0.833	0.830
60	0.094	0.997		0.987	0.975	0.958	0.931	0.893	0.847
90	0.117	0.999	1.000		0.995	0.979	0.948	0.904	0.851
120	0.173	0.999	1.000	0.999		0.993	0.971	0.934	0.888
150	0.248	1.000	0.996	0.995	0.998		0.993	0.969	0.934
180	0.334	1.000	0.986	0.985	0.991	0.997		0.992	0.971
210	0.432	0.999	0.968	0.967	0.977	0.987	0.996		0.993
240	0.537	0.999	0.939	0.939	0.952	0.968	0.984	0.995	

Se resaltan en sombreado las correlaciones superiores a 0,95.

Como era de esperar las mayores correlaciones se encuentran entre edades adyacentes, aunque existen determinados periodos de las primeras etapas predestete con correlaciones muy elevadas con los pesos finales al destete (pe. a los 30 días en el caso de los valores genéticos maternos, o los 60 en el caso de los directos). También se puede observar como en toda esta trayectoria de edades las correlaciones genéticas para efectos maternos son superiores y más uniformes que las de los efectos directos. En estos últimos existe por lo tanto una menor posibilidad de utilizar los pesos a las edades más tempranas como predictores de los pesos al destete. Así para obtener una correlación genética superior a 0,95 con el valor genético a los 180 días es necesario alcanzar al menos los 120 días de edad. En cambio en el caso de los efectos genéticos maternos esta correlación se alcanzaría ya a los 30 días (figura 6).

Figura 6. Correlación genética entre los efectos genéticos directos y maternos para el peso a diferentes edades y el peso a los 180 días en la raza Retinta.



La comparación de los parámetros estimados a los 180 días por la metodología de RRM con los calculados para la misma población y un modelo genético equivalente con la metodología clásica del BLUP se puede observar en la tabla 2.

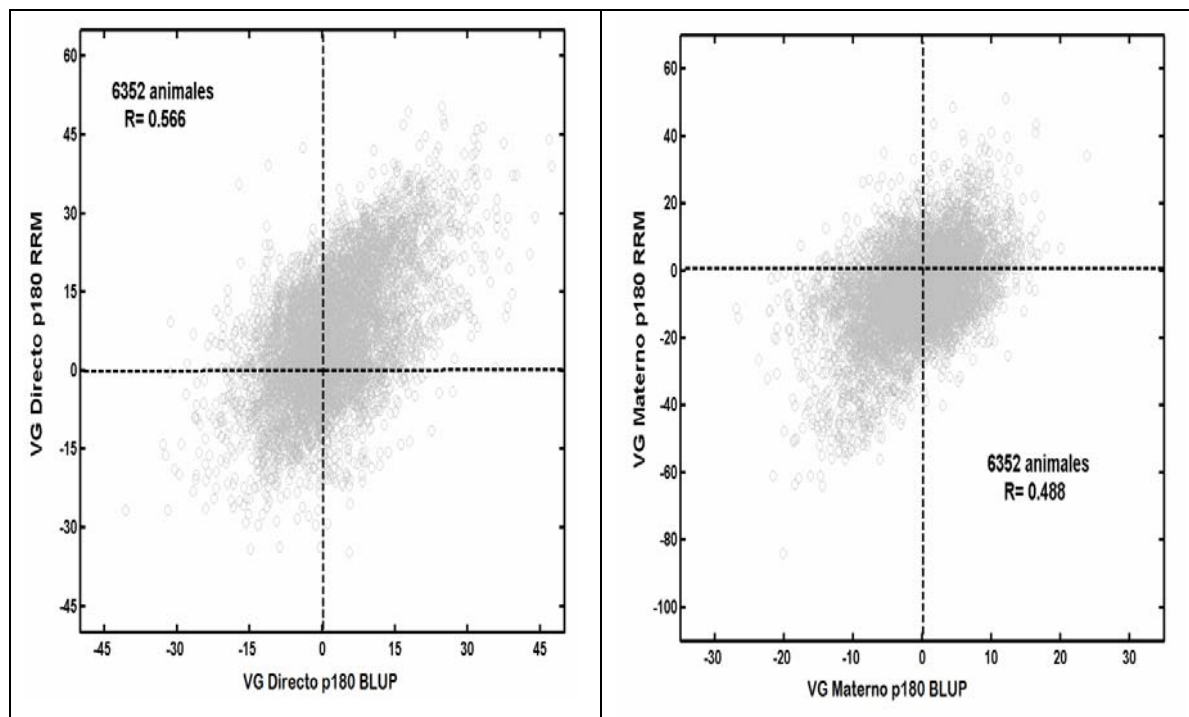
Tabla 2. Heredabilidad ( $h^2$ ) para efectos directos y maternos y correlación entre ambos para el peso a 180 días de edad en ganado Retinto, estimados mediante metodología BLUP y mediante Regresión Aleatoria.

Método de estimación	$h^2$ Efecto Directo	$h^2$ Efecto Materno	Correlación DM
Regresión Aleatoria	0.285	0.310	-0.415
Método BLUP	0.423	0.205	-0.669
Error estándar	$\pm 0.09$	$\pm 0.05$	$\pm 0.09$

Los parámetros estimados por RRM fueron inferiores a los del método BLUP para el efecto directo y superiores para el efecto materno, dándose así mismo un menor antagonismo entre ambos efectos. En términos comparativos los parámetros genéticos estimados por RRM resultaron mucho más coherentes

dentro del rango de los resultados de la literatura sobre este tema. Según este patrón es de esperar algunas variaciones en los valores genéticos estimados con ambos procedimientos (figura 7).

Figura 7. Representación de las relaciones entre los EBV para peso a 180 días estimados mediante metodología BLUP y mediante Regresión Aleatoria.



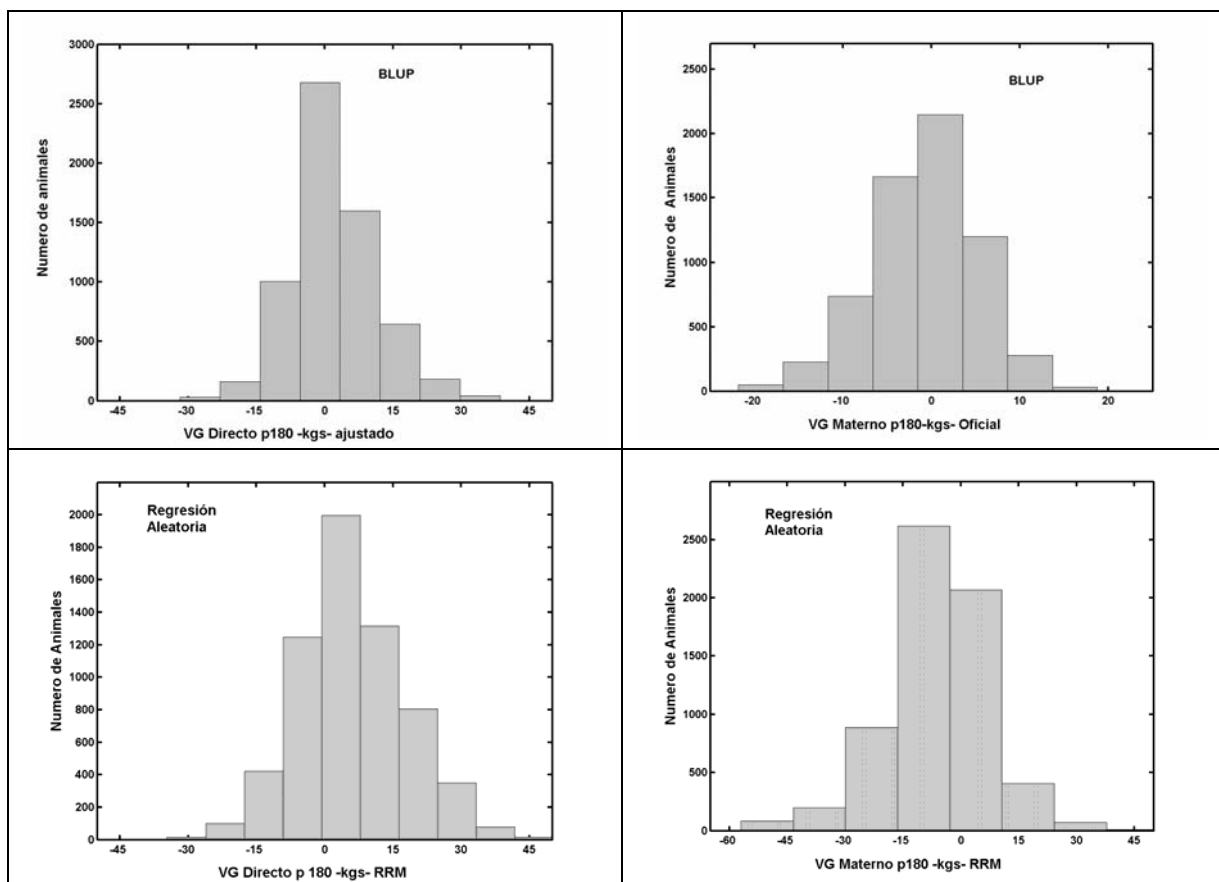
En términos generales se puede observar la asociación positiva entre ambas estimaciones, pero significativamente inferior a la unidad, de manera que los mejores animales evaluados por ambos procedimientos no serán los mismos. Lo anterior puede inferirse, tanto por el nivel de las correlaciones como por las líneas de puntos que se cruzan en el  $VG=0$  para ambos efectos genéticos. Para una mayor evidencia seleccionamos los mejores 300 animales por cada procedimiento y efecto genético, presentándose los resultados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados comparativos de la selección de los mejores 300 animales seleccionados por su VG para el peso a 180 días según la metodología BLUP y la RRM.

Método	VG Efecto Directo	VG Efecto Materno
<b>BLUP</b>	+25.1	+11.2
<b>RRM</b>	+32.2	+21.1
<b>Nº de animales comunes</b>	122	63
<b>Porcentaje de coincidencia</b>	40.6	21.0

Los resultados indican un bajo nivel de coincidencia en la selección de los animales de acuerdo a ambos procedimientos lo cual está en correspondencia con los planteamientos previos. Hay otro elemento que debe resaltarse y es la magnitud del VG estimado que resultó muy superior para RRM en comparación al BLUP. Independientemente de ello es necesario apuntar que existe una amplia variabilidad genética para el peso a los 180 días de edad (figura 8).

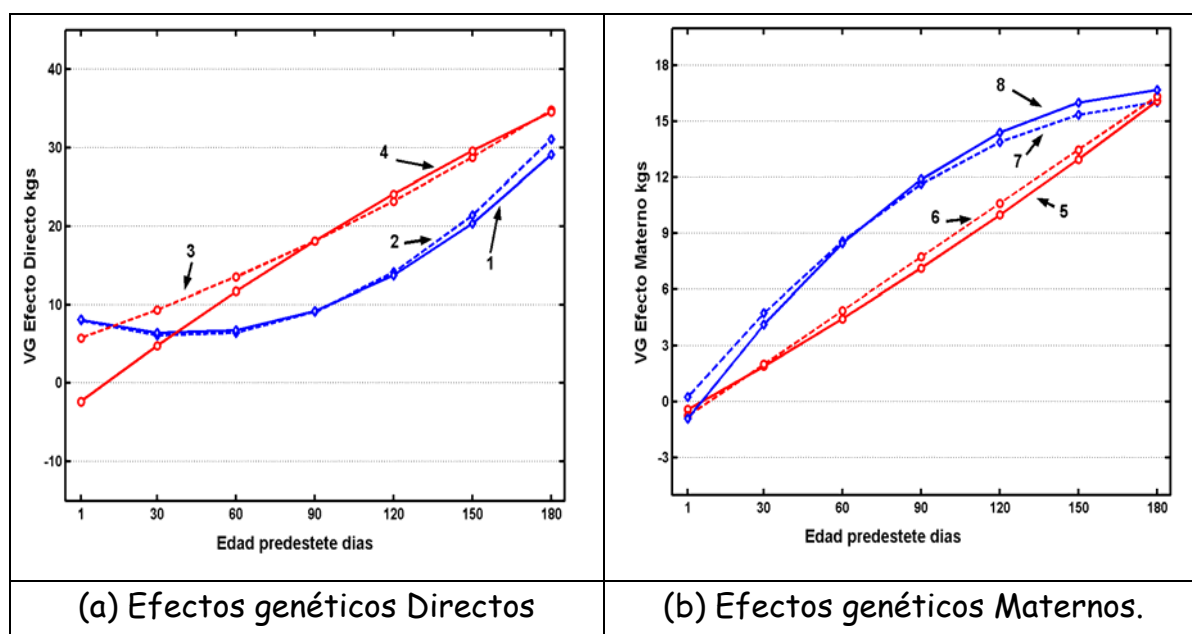
Figura 8. Variabilidad en Valor Genético para peso vivo a 180 días en animales Retintos estimado por el procedimiento BLUP y por RRM.



Cualquiera que sea el método de análisis es evidente que existe amplio margen para el trabajo de selección y mejora en esta raza. Para efectos genéticos directos la magnitud total de estas variaciones fueron semejantes en RRM y BLUP con aproximadamente 85 kgs entre los mejores y peores animales, por el contrario para efectos genéticos maternos el procedimiento RRM presentó una variabilidad genética 4 veces superior a la obtenida mediante BLUP. Otro elemento que hay que señalar está en el hecho mismo de las bases de ambos procedimientos, mientras en RRM se utilizaron todos los registros de peso vivo lo cual permitió evaluar un total de 7235 animales, en el método BLUP sólo se evaluaron 6944 animales ya que se pusieron restricciones a los rangos de edades para estimar el P180 ajustado previamente.

No obstante la clara ventaja de este procedimiento de RR con respecto a la metodología clásica del BLUP queda ejemplarizada en la figura 9. En esta se representa la curva de valores genéticos para el peso a las diferentes edades en un grupo de animales que presentaron el mismo valor genético a la edad de referencia de los 180 días.

Figura 9. Curva de valores genéticos de 8 terneros con igual valor genético a los 180 días (directo gráfica (a), y materno gráfica (b)).



Así aunque los animales 1 a 4 presenta un valor genético directo a los 180 días semejante, los animales 3 y 4 manifiestan un crecimiento lineal en todo el período, mientras que el 1 y 2 presentan una evolución cuadrática, alcanzándose a los 90 días de edad las mayores diferencias entre ambos grupos. Igual consideración puede hacerse con los animales 6 a 8 en el caso de los efectos genéticos directos. Esto nos permite ver la flexibilidad que permite en la selección de los animales según el momento de la curva de crecimiento que queramos maximizar (pe. el momento en que queramos realizar el destete).



## **ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES PARTOS DE LA VACA**

Contrariamente a lo que se podría pensar a priori, este tipo de análisis, así como el del apartado siguiente (estimación de la curva de productividad acumulada) presentan una gran complejidad y sus resultados suelen estar muy mediatizados por la calidad de las bases de datos utilizadas, ya que se exige que todos los partos de las reproductoras que se utilicen tengan completo su historial reproductivo (fecha de nacimiento, edad al primer parto y todos las fechas de los partos posteriores) y que todos sus terneros hayan sido controlados (pesados) de forma adecuada (varias pesadas distribuidas a lo largo del periodo predestete). Otros problemas adicionales se derivan de la mayor dificultad en definir los factores ambientales a introducir en el modelo (algunos de peor definición como es el caso de los caracteres reproductivos). Finalmente también hay que tener en cuenta que al ser necesario abarcar un periodo lo más amplio posible de la vida reproductiva típica de la raza, llega un momento en que se van eliminando las reproductoras menos productivas y quedándose las más productivas, lo que puede introducir un sesgo en las estimaciones genéticas que se realicen a esas edades.

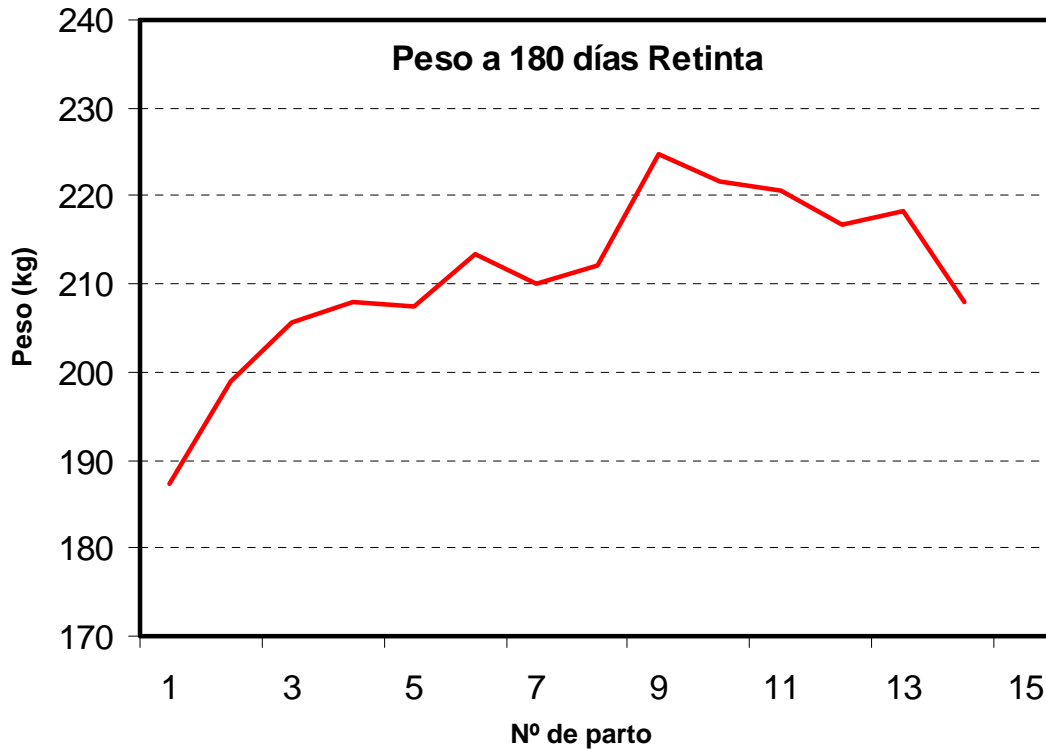
En este sentido, a pesar de la calidad de las bases de datos utilizadas, se tiene la certeza de la existencia de historiales incompletos (eliminándose todos los partos de las vacas en los que se haya detectado que falta un parto registrado o que no se ha controlado un ternero) y una cierta selección de las reproductoras a partir de los 11 años. Esto ha hecho que finalmente sólo se haya podido trabajar con 3693 registros (terneros) de 1535 madres, lo que implica que muchas reproductoras todavía no habían terminado su vida productiva.

A pesar de esto entendemos que los resultados presentados aquí tienen total vigencia y una elevada importancia para la toma de decisiones en el proceso selectivo de la raza Retinta.

En la figura 10 se presentan las medias mínimo-cuadráticas obtenidas para la variable peso a los 180 días de la cría en cada uno de los partos de las vacas Retintas analizadas.

Se puede observar como la máxima productividad de la vaca se obtendría a partir del 4-5 parto, iniciándose un descenso hasta el sétimo parto, momento en que se vuelve a incrementar, con toda seguridad por el efecto de eliminación de las vacas menos productivas a esta edad.

Figura 10. Productividad de las vacas Retintas evaluada por el peso al destete del ternero obtenido en cada parto.



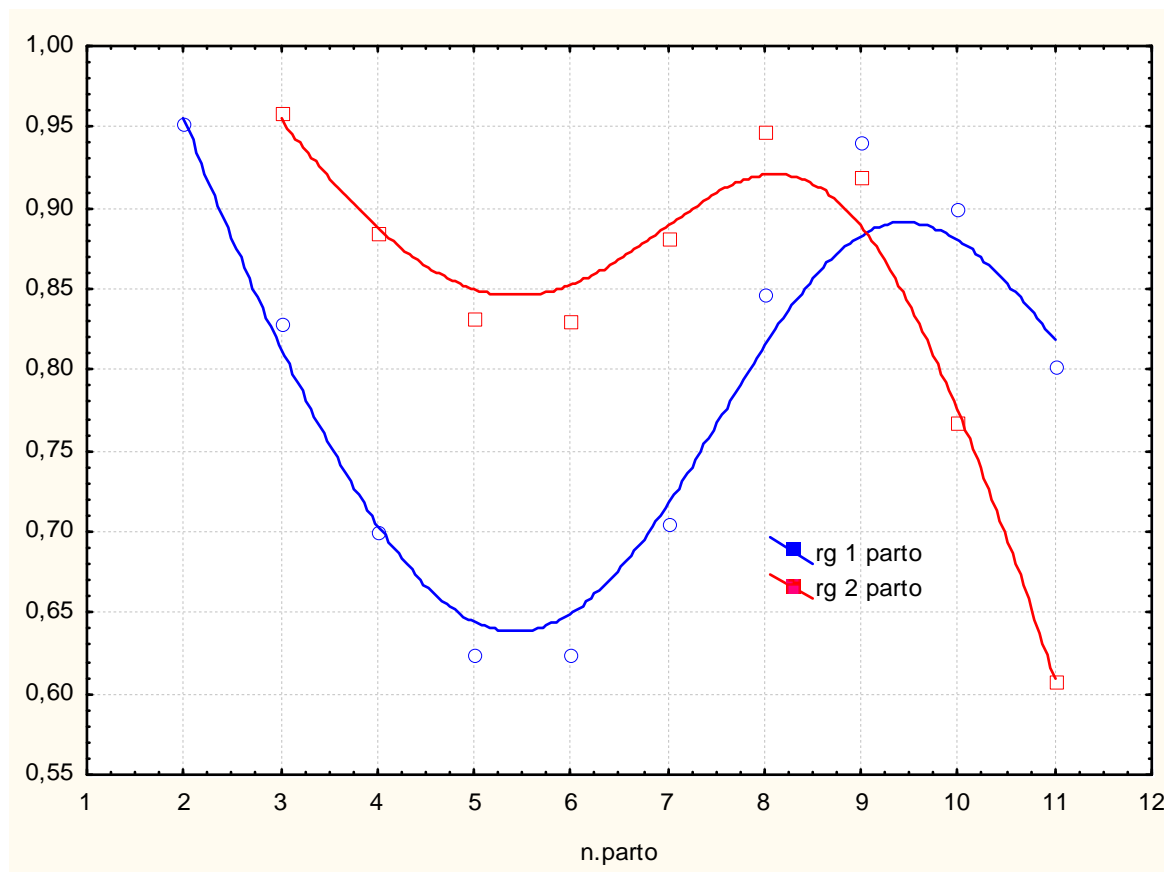
En la tabla 4 se presentan los parámetros genéticos estimados (heredabilidad y correlaciones genéticas) para los pesos a los 180 días de los diferentes partos de las reproductoras. En esta tabla se puede observar como las estimaciones de la heredabilidad van disminuyendo conforme aumenta el número de parto (con la excepción del último analizado). Por su parte la correlación genética va disminuyendo conforme aumenta la diferencia en partos. Es de especial importancia por sus repercusiones en la posibilidad de seleccionar de forma precoz a las novillas de primer parto como futuras reproductoras, la correlación entre el primer parto y los siguientes de la vaca.

Tabla 4. Heredabilidad (en la diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para el peso a los 180 días de los terneros obtenidos en los diferentes partos de la raza Retinta.

Nº Parto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<b>0,115</b>	0,953	0,828	0,700	0,625	0,625	0,705	0,847	0,941	0,899	0,803
2	0,810	<b>0,086</b>	0,959	0,884	0,832	0,830	0,881	0,947	0,920	0,768	0,607
3	0,622	0,845	<b>0,083</b>	0,980	0,954	0,952	0,970	0,962	0,825	0,584	0,377
4	0,491	0,788	0,948	<b>0,079</b>	0,995	0,992	0,989	0,929	0,724	0,432	0,201
5	0,460	0,784	0,917	0,948	<b>0,087</b>	0,999	0,986	0,904	0,669	0,357	0,118
6	0,468	0,616	0,804	0,804	0,871	<b>0,061</b>	0,991	0,914	0,684	0,373	0,134
7	0,430	0,532	0,567	0,624	0,718	0,894	<b>0,057</b>	0,961	0,776	0,494	0,264
8	0,367	0,661	0,761	0,864	0,889	0,881	0,859	<b>0,050</b>	0,920	0,716	0,521
9	0,380	0,671	0,782	0,843	0,882	0,874	0,843	0,979	<b>0,056</b>	0,932	0,813
10	0,435	0,699	0,783	0,867	0,881	0,893	0,879	0,989	0,966	<b>0,087</b>	0,969
11	0,519	0,677	0,732	0,808	0,782	0,842	0,862	0,938	0,910	0,961	<b>0,150</b>

En esta tabla se puede observar como la correlación entre el primer parto y los siguientes va decreciendo hasta el 8 parto (el posterior ascenso se debe con toda probabilidad a que a partir de este momento existe una fuerte selección de las reproductoras, permaneciendo en el rebaño sólo aquellas que han presentado mejores resultados productivos hasta ese momento). También hay que destacar que la correlación del 2º y 3º parto (y los siguientes) con los siguientes es superior a la del primero. Esto muestra claramente como al igual que ocurre en el caso de las lactaciones del vacuno de leche, el primer parto debe considerarse como un carácter diferente a los demás, y que el poder predictivo de este primer parto es muy inferior al de los siguientes. En la figura 11 se puede observar la evolución de esta correlación genética para el primer y segundo parto. De hecho la correlación genética entre el P180 del primer parto y del resto de partos fue de 0,791, claramente inferior a la que se obtuvo con el segundo parto que fue de 0,877. Este valor fue sólo muy ligeramente inferior al obtenido para el tercer parto de 0,889, confirmándose la recomendación anterior (aunque la selección a partir del tercer parto sería algo más precisa que teniendo en cuenta sólo hasta el segundo, provocaría un retraso en la selección de los animales que muy probablemente anularía el beneficio de una mayor precisión en la selección).

Figura 11. Evolución de la correlación genética entre el peso a los 180 días de los terneros obtenidos en el primer y segundo parto y los restantes partos de las vacas Retintas.



Se puede observar como en todo momento (salvo a partir del décimo parto por la razón ya señalada) el valor del segundo parto de la vaca para predecir los siguientes partos es muy superior al del primer parto. Esto trae como consecuencia que para la selección definitiva de las reproductoras sea recomendable que se incluyan al menos los dos primeros partos.

Independientemente de lo planteado es estimulante las variaciones genéticas existentes entre los VG (figura 12) para el peso a los 180 días en los diferentes partos (en términos de kgs destetados en cada parto), estos valores entre los mejores y peores animales fue para estos primeros cuatro partos de:

Primer parto -24.1 a +17.1

2º Parto -20.6 a +15.7

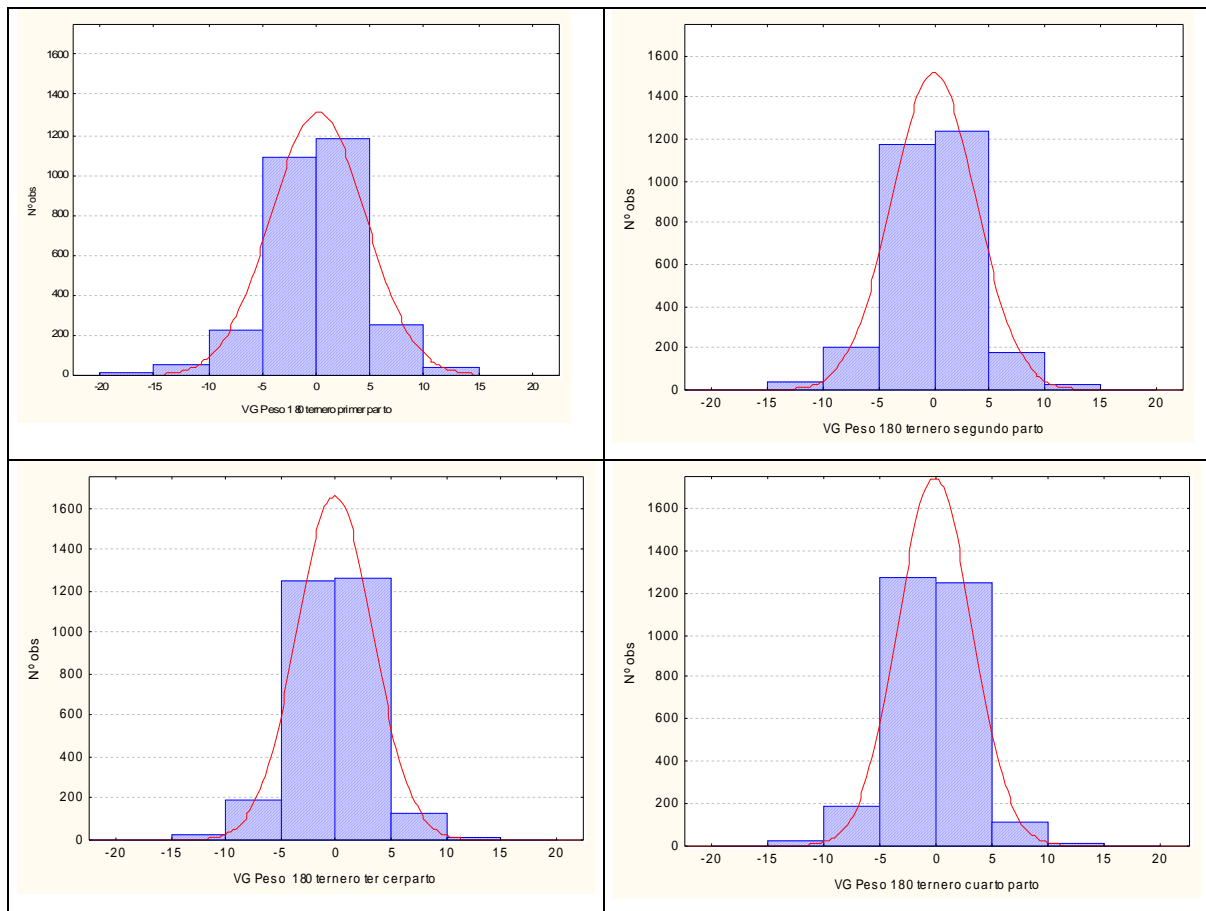
3<sup>er</sup> Parto -18.2 a +14.7

4º Parto -16.4 a +13.8

con una tendencia a la disminución en la magnitud de la variación en la medida que aumenta el número de partos.

Se puede observar como al ir avanzando en el número de parto va disminuyendo el rango entre los mejores y peores animales (existe una menor variabilidad para este carácter). Estas diferencias son más palpables en el primer parto con respecto al resto. De cualquier forma respecto a la media de peso al destete estas variaciones son superiores al 10 % en cualquier parto.

Figura 12. Histograma de frecuencias de los Valores Genéticos estimados para kgs de ternero a los 180 días en cada parto de vacas Retinto (sólo se muestran los 4 primeros partos).

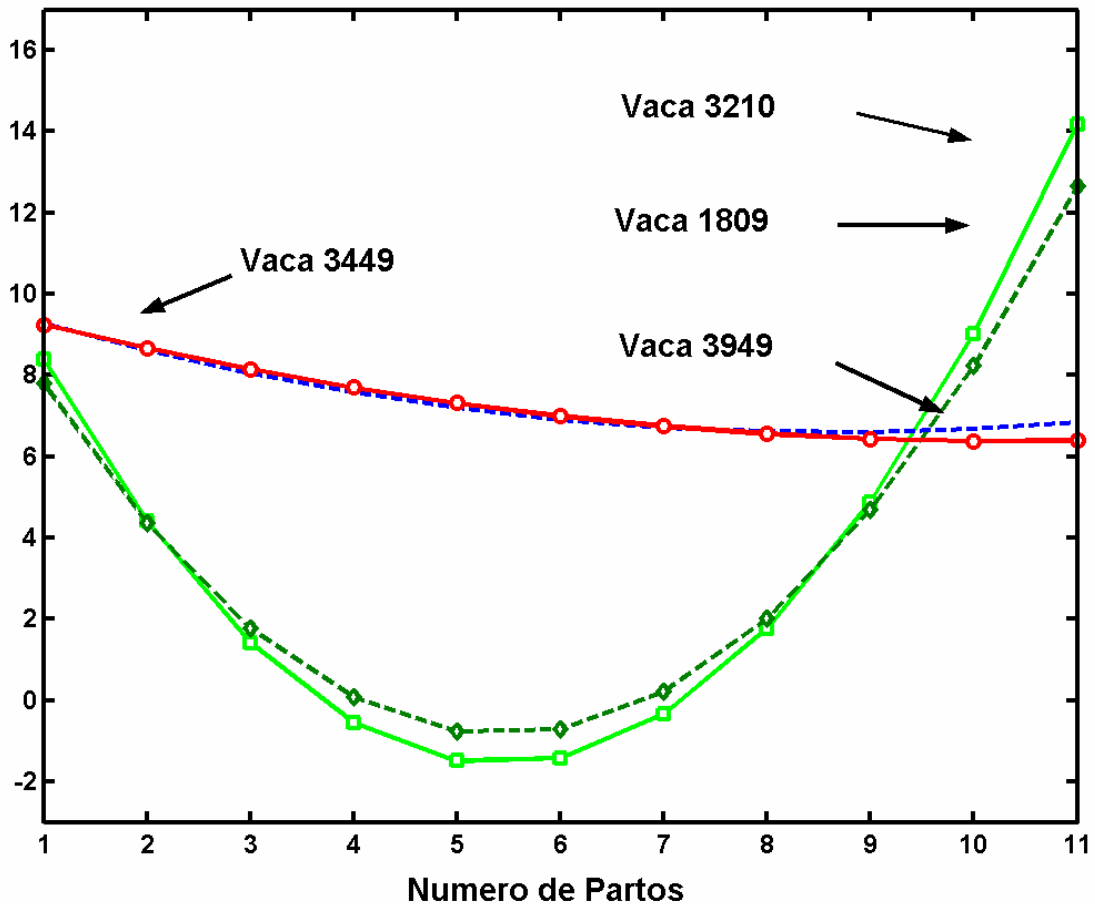


Estas variaciones en la forma de respuesta cuyo origen es genético son otros elementos de mucha importancia y que proporcionan un alto interés a continuar estudiando estos caracteres que definen la Productividad de una vaca de carne. Así también en el caso de la evolución del valor genético para los pesos a los 180 días de los terneros nacidos de los diferentes partos de las vacas, se puede detectar animales (genotipos) con diferente comportamiento (figura 13).

En esta figura se puede observar vacas cuyo valor genético (potencial productivo en relación al resto de vacas) es más o menos constante a lo largo de

la vida de la reproductora (pe. 3449) mientras que en otros casos existe una gran variación (pe. vaca 3210).

Figura 13. Variación en la forma de VG vacas evaluadas por kgs de ternero por partos.



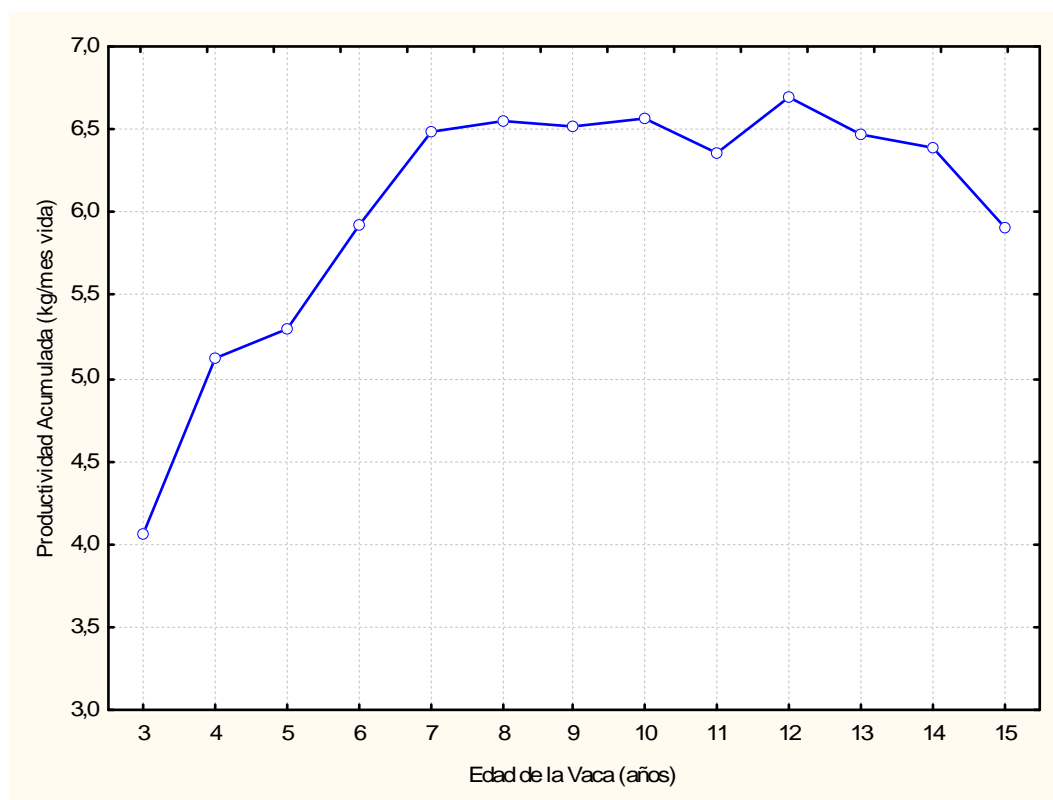
Los animales representados en esta figura son vacas identificadas dentro de los mejores 200 animales seleccionados por su VG en el primer parto. De manera que entre ellas no existen diferencias genéticas en este primer parto.

## ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ACUMULADA A LO LARGO DE LA VIDA PRODUCTIVA DE LAS REPRODUCTORAS

En el caso de la productividad acumulada (kg de ternero destetado por mes de vida del animal) el número final de registros fue algo inferior al anterior debido a la existencia de terneros que no contaban con el peso a los 180 días (2315 registros de 780 madres), de manera que estos resultados deben interpretarse aún con mayor cautela. No obstante, si se observan las gráficas siguientes, se comprenderá la importancia para la mejora de la raza que conlleva la inclusión de este nuevo criterio de selección dentro del esquema de selección de la misma.

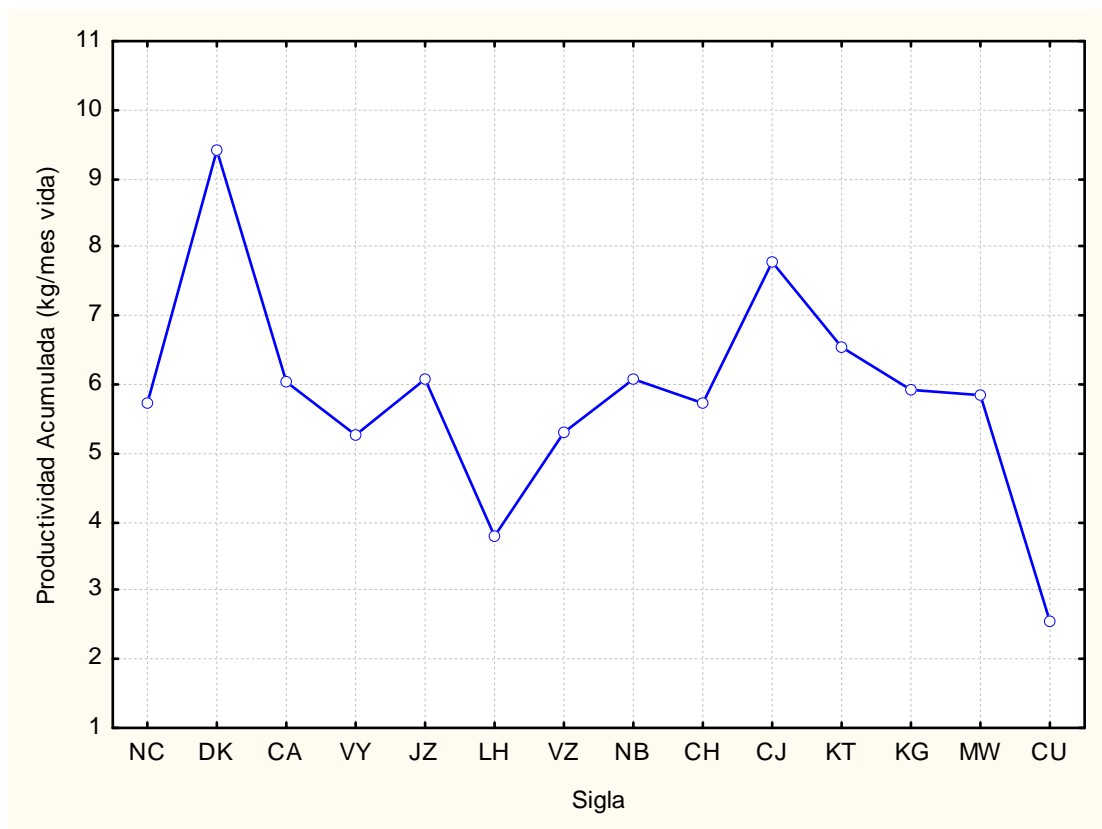
Así en la figura 14 se puede observar la evolución de la productividad media acumulada desde los 3 años hasta los 15. Se puede observar como la raza Retinta puede considerarse una raza con una amplísima vida productiva, alcanzándose los niveles de productividad máxima a partir de los 7 años, que se estabiliza hasta subir (debido a la eliminación de reproductoras menos productivas) a los 12 años, para ir descendiendo hasta los 15, donde aún mantiene valores bastante aceptables. No ha sido posible por la escasez de los datos prolongar el análisis en edades superiores a estos 15 años.

Figura 14. Evolución de la productividad media acumulada en la raza Retinta.



Con la finalidad de mostrar la gran variabilidad de este parámetro entre las diferentes ganaderías gaditanas analizadas se ha elaborado la figura 15. Como se puede ver si tomamos como referencia la ganadería que presenta una mayor productividad (DK según este estudio) el margen de mejora de la mayoría de explotaciones es más que evidente.

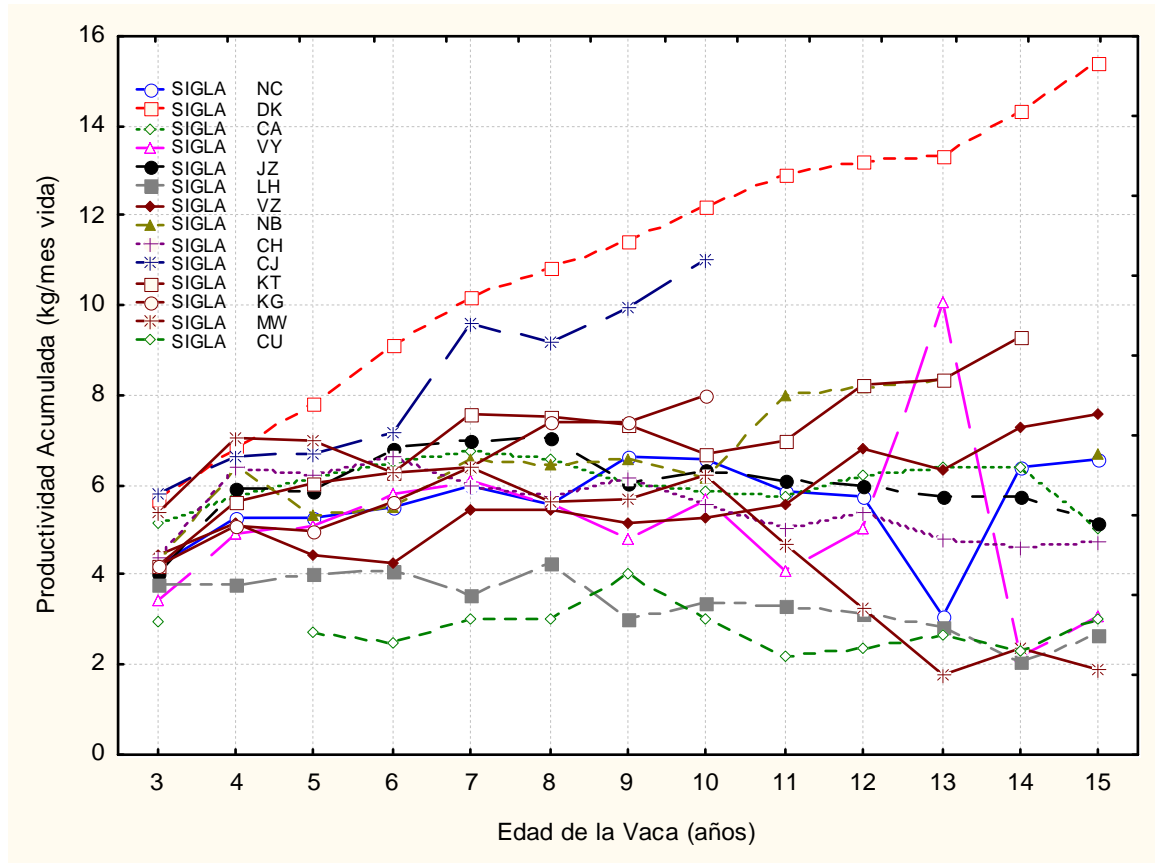
Figura 15. Productividad media acumulada de las reproductoras de las diferentes explotaciones retintas analizadas.



De la misma forma es evidente la diferente evolución de la productividad media de las reproductoras de estas mismas ganaderías (figura 16). Estos resultados presentan una enorme importancia para la gestión de las explotaciones, dado que implica la existencia de explotaciones, que por su perfil genético o por su sistema productivo son incapaces de mantener unos buenos niveles de productividad a edades más avanzadas, aun cuando puedan presentar unas producciones superiores en el caso de los animales más jóvenes. De la misma forma hacen prever (como se comprobara a continuación) la existencia de una elevada variabilidad genética y por lo tanto amplias posibilidades de mejora genética. Tres ejemplos contrapuestos serían los de la ganadería DK, que va incrementando de forma clara la productividad a lo largo de la vida de sus reproductoras, JZ que la mantiene y finalmente CJ que presenta una evolución claramente descendente.



Figura 16. Evolución de la productividad acumulada de las reproductoras de las diferentes explotaciones Retintas analizadas.

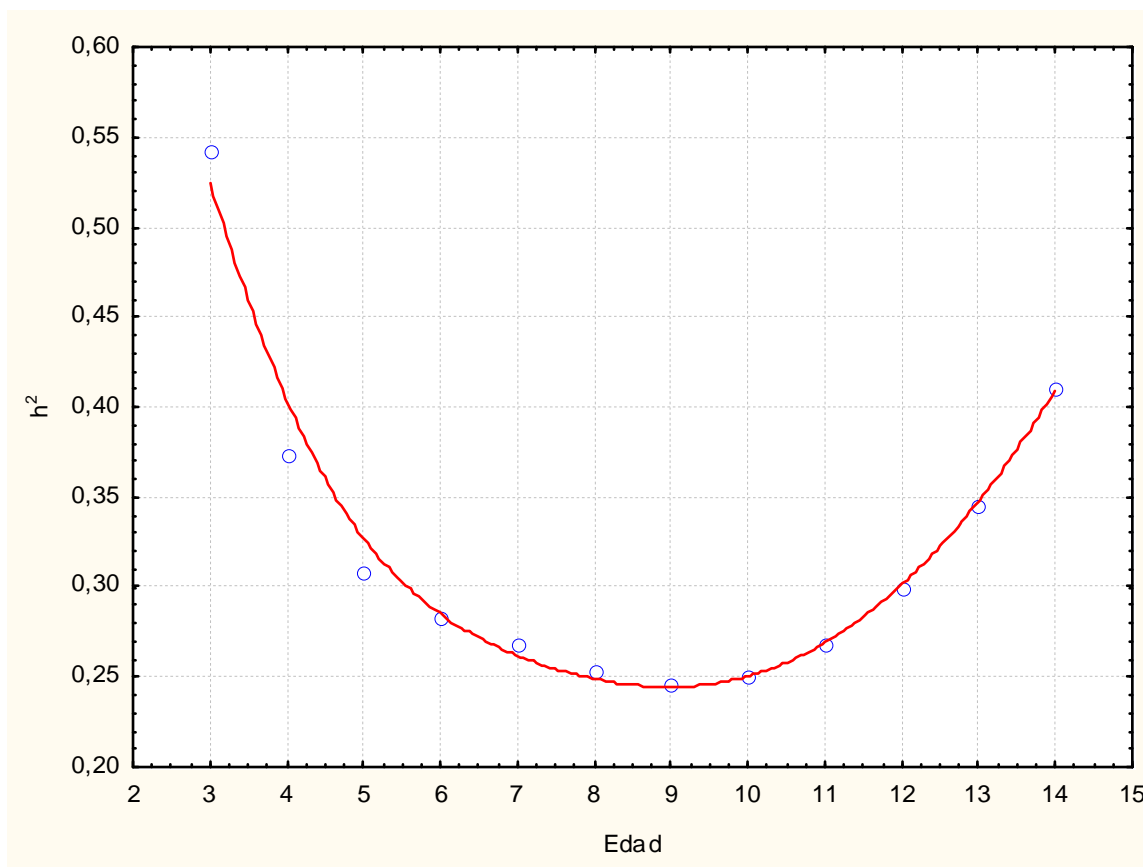


La estimación de la evolución de la heredabilidad a lo largo de toda la vida productiva de la vaca Retinta mostró en todos los casos valores muy elevados de heredabilidad (0,542 para los tres años de edad y 0,268 a 0,411 para los 4 a los 14 años) observándose una tendencia descendente (figura 17) conforme va incrementándose la edad de las reproductoras (los últimos valores pueden deberse a una preselección de los datos al haberse eliminado a estas edades muchas reproductoras).

Tabla 5. Heredabilidad (en la diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y fenotípicas (debajo de la diagonal) para la variable productividad media acumulada en la raza Retinta.

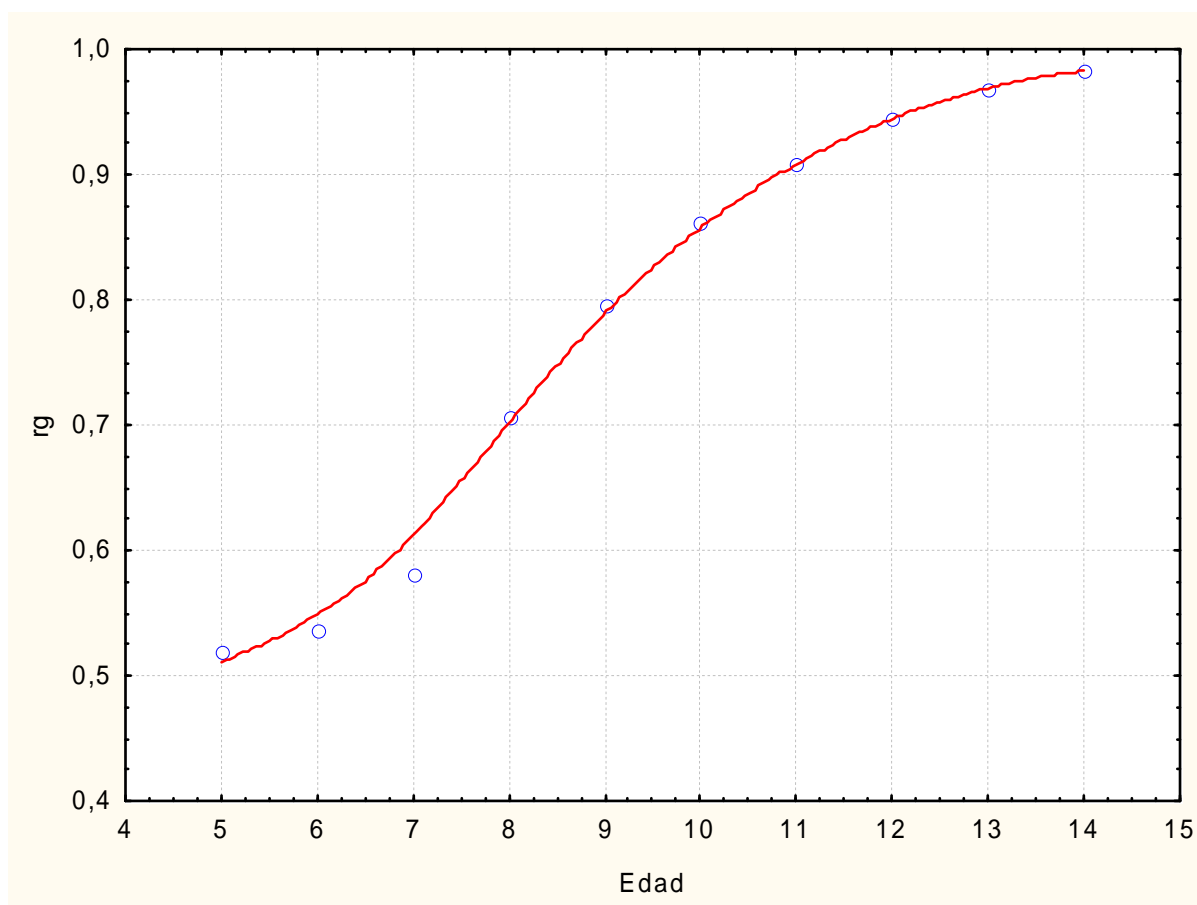
Edad Vaca	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>3</b>	<b>0,542</b>	0,956	0,836	0,681	0,519	0,362	0,211	0,065	-0,073	-0,195	-0,293	-0,361
<b>4</b>	0,949	<b>0,374</b>	0,960	0,865	0,745	0,614	0,479	0,341	0,207	0,086	-0,011	-0,078
<b>5</b>	0,817	0,973	<b>0,308</b>	0,970	0,900	0,807	0,699	0,582	0,462	0,352	0,262	0,199
<b>6</b>	0,732	0,856	0,975	<b>0,283</b>	0,978	0,925	0,849	0,758	0,660	0,565	0,485	0,427
<b>7</b>	0,704	0,803	0,888	0,981	<b>0,268</b>	0,983	0,939	0,875	0,800	0,722	0,654	0,600
<b>8</b>	0,626	0,694	0,843	0,914	0,987	<b>0,254</b>	0,986	0,949	0,895	0,835	0,778	0,728
<b>9</b>	0,650	0,680	0,764	0,868	0,955	0,992	<b>0,246</b>	0,988	0,957	0,914	0,867	0,822
<b>10</b>	0,477	0,596	0,725	0,839	0,916	0,965	0,995	<b>0,250</b>	0,990	0,965	0,930	0,891
<b>11</b>	0,614	0,636	0,745	0,876	0,927	0,958	0,981	0,996	<b>0,268</b>	0,992	0,971	0,940
<b>12</b>	0,520	0,684	0,694	0,825	0,886	0,938	0,965	0,985	0,997	<b>0,300</b>	0,993	0,973
<b>13</b>	0,423	0,665	0,623	0,778	0,855	0,906	0,945	0,978	0,988	0,997	<b>0,345</b>	0,993
<b>14</b>	0,639	0,688	0,589	0,694	0,838	0,880	0,928	0,955	0,968	0,981	0,993	<b>0,411</b>

Figura 17. Evolución de la heredabilidad para el carácter peso destete acumulado (P180) a lo largo de la vida de la reproductora de la raza Retinta.



En este caso los valores de correlación genética muestran un perfil parecido al que se vio en el caso de peso de cada parto. Así en la figura 18 se puede observar el escaso poder predictivo ( $r_g=0,55$ ) de la productividad de la vaca a los 4 años de edad y como, conforme se va incrementando la edad se va incrementando la precisión con que realizaremos la selección de las mejores reproductoras (tanto por tener más información, como por la mayor correlación de esta información con el resto de vida productiva del animal). Desde el punto de vista predictivo si la selección de las reproductoras madres de futuros reproductores se realiza demasiado precozmente (pe. hasta los 7 años no se cuenta con información suficiente para tener una correlación genética con las futuras producciones del 80%) la respuesta será baja. A falta de estudios específicos, pensamos que en ningún caso se deberían seleccionar como madres de futuros reproductores animales menores a los 6-7 años (la selección precoz no compensaría la pérdida de precisión en esta selección).

Figura 18. Evolución de la correlación genética entre la productividad acumulada de las reproductoras a cada edad con la productividad a los 14 años en el vacuno Retinto.



La correlación genética entre las variables peso a cada parto y productividad anual se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 6. Correlaciones genéticas entre la variable productividad media acumulada y peso del ternero a cada parto en la raza Retinta.

	nP1	nP2	nP3	nP4	nP5	nP6	nP7	nP8	nP9	nP10	nP11
<b>Ed3</b>	0,031	0,056	0,076	0,088	0,092	0,088	0,074	0,048	0,011	-0,028	-0,055
<b>Ed4</b>	0,078	0,097	0,110	0,116	0,116	0,113	0,104	0,088	0,059	0,026	-0,000
<b>Ed5</b>	0,132	0,143	0,146	0,144	0,140	0,138	0,136	0,131	0,116	0,091	0,067
<b>Ed6</b>	0,184	0,185	0,177	0,166	0,158	0,156	0,162	0,171	0,172	0,159	0,139
<b>Ed7</b>	0,223	0,213	0,194	0,174	0,162	0,163	0,176	0,199	0,217	0,217	0,203
<b>Ed8</b>	0,241	0,221	0,193	0,167	0,152	0,154	0,174	0,208	0,241	0,253	0,247
<b>Ed9</b>	0,239	0,211	0,177	0,147	0,131	0,134	0,158	0,200	0,243	0,266	0,267
<b>Ed10</b>	0,222	0,190	0,152	0,121	0,105	0,109	0,134	0,181	0,231	0,261	0,269
<b>Ed11</b>	0,200	0,165	0,126	0,095	0,079	0,083	0,110	0,158	0,212	0,248	0,260
<b>Ed12</b>	0,178	0,142	0,103	0,072	0,057	0,062	0,088	0,137	0,193	0,232	0,248
<b>Ed13</b>	0,161	0,124	0,085	0,055	0,041	0,045	0,072	0,120	0,177	0,219	0,237
<b>Ed14</b>	0,149	0,112	0,073	0,043	0,029	0,034	0,061	0,109	0,167	0,210	0,230

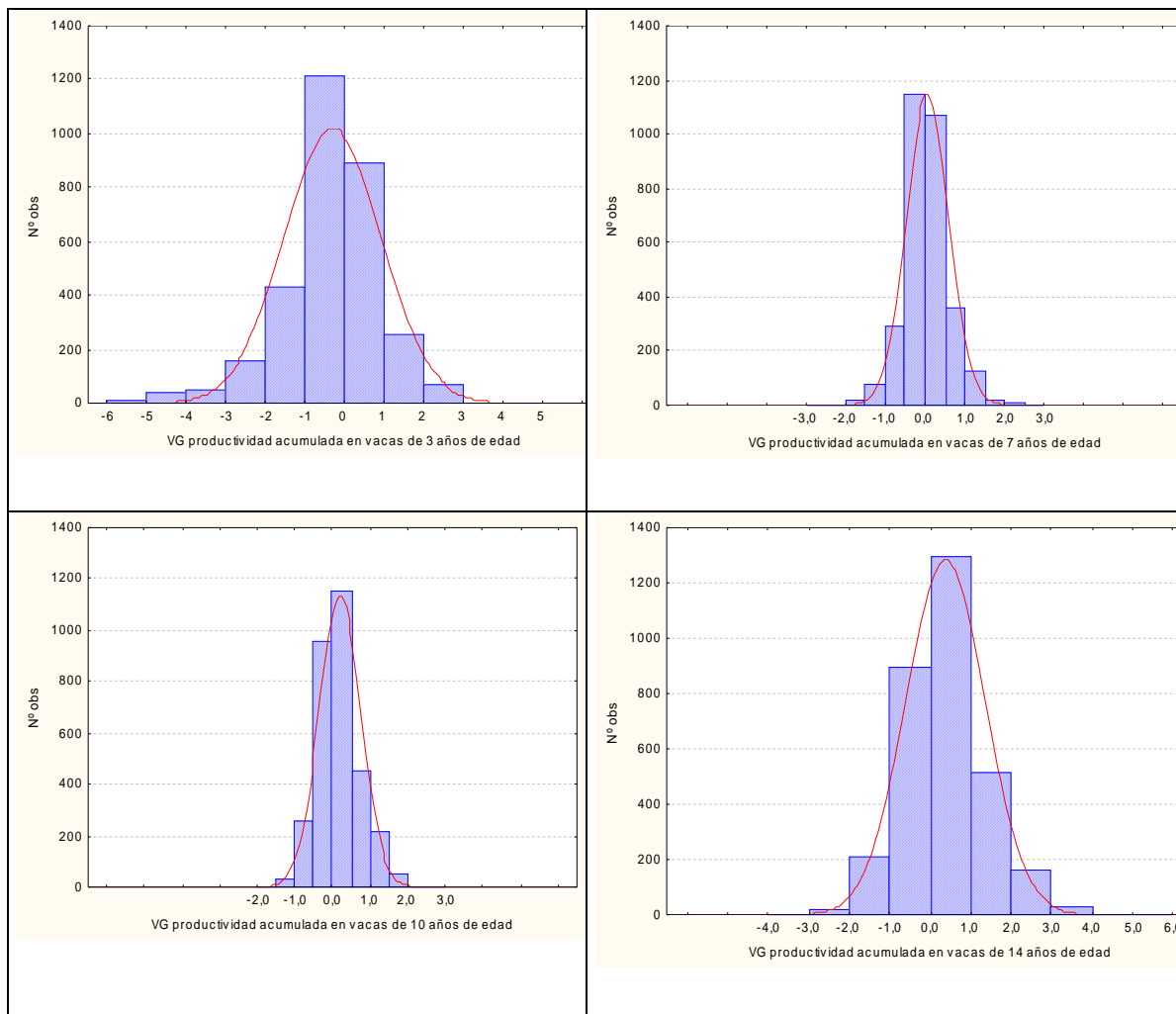
Tabla 7. Correlaciones fenotípicas entre la variable productividad media acumulada y peso del ternero a cada parto en la raza Retinta.

	nP1	nP2	nP3	nP4	nP5	nP6	nP7	nP8	nP9	nP10	nP11
<b>Ed3</b>	0,836	0,754	0,746	0,676	0,614	0,62	0,599	0,569	0,572	0,523	0,546
<b>Ed4</b>	0,797	0,939	0,933	0,859	0,78	0,687	0,672	0,647	0,623	0,679	0,568
<b>Ed5</b>	0,669	0,885	0,912	0,903	0,849	0,805	0,761	0,721	0,693	0,698	0,438
<b>Ed6</b>	0,668	0,829	0,876	0,909	0,886	0,874	0,864	0,847	0,819	0,777	0,653
<b>Ed7</b>	0,635	0,805	0,836	0,903	0,924	0,926	0,931	0,921	0,906	0,843	0,798
<b>Ed8</b>	0,57	0,697	0,805	0,903	0,939	0,952	0,957	0,95	0,946	0,905	0,881
<b>Ed9</b>	0,614	0,699	0,772	0,893	0,93	0,952	0,966	0,971	0,968	0,963	0,914
<b>Ed10</b>	0,442	0,643	0,755	0,868	0,908	0,944	0,967	0,978	0,984	0,98	0,959
<b>Ed11</b>	0,532	0,735	0,799	0,89	0,926	0,947	0,965	0,975	0,98	0,987	0,974
<b>Ed12</b>	0,291	0,717	0,743	0,852	0,904	0,938	0,959	0,977	0,983	0,989	0,981
<b>Ed13</b>	0,216	0,677	0,702	0,846	0,887	0,924	0,935	0,969	0,979	0,991	0,989
<b>Ed14</b>	0,393	0,704	0,736	0,781	0,895	0,921	0,923	0,95	0,963	0,983	0,998

A la vista de estos resultados es evidente que se deben considerar como caracteres diferentes, la productividad medida por el peso de los terneros al destete en los diferentes partos y la productividad acumulada medida por kg de ternero destetado por mes de vida de la reproductora. La principal causa es que este segundo recoge la variación existente en la edad al primer parto y en los diferentes interpartos.

También en este caso es interesante resaltar la amplitud del rango entre los valores genéticos de esta variable. Así en la figura 19 se presenta el histograma de frecuencias de los valores genéticos para la productividad acumulada a cuatro momentos de la vida productiva de las reproductoras Retintas.

Figura 19. Histograma de frecuencias de los Valores Genéticos estimados para la productividad acumulada (kgs de ternero destetado por mes de vida de la vaca) a lo largo de la vida productiva de las vacas Retintas (sólo se muestran 4 edades).



Se puede observar en este caso una mayor variabilidad genética en las edades extremas (3 y 14 años) en relación a las intermedias (7 y 10 años en la figura representada). Los límites entre el animal con mayor valor genético y menor osciló para estas cuatro edades entre:

Vacas de 3 años: -6,8 a 3,3

Vacas de 7 años: -2,4 a 2,4

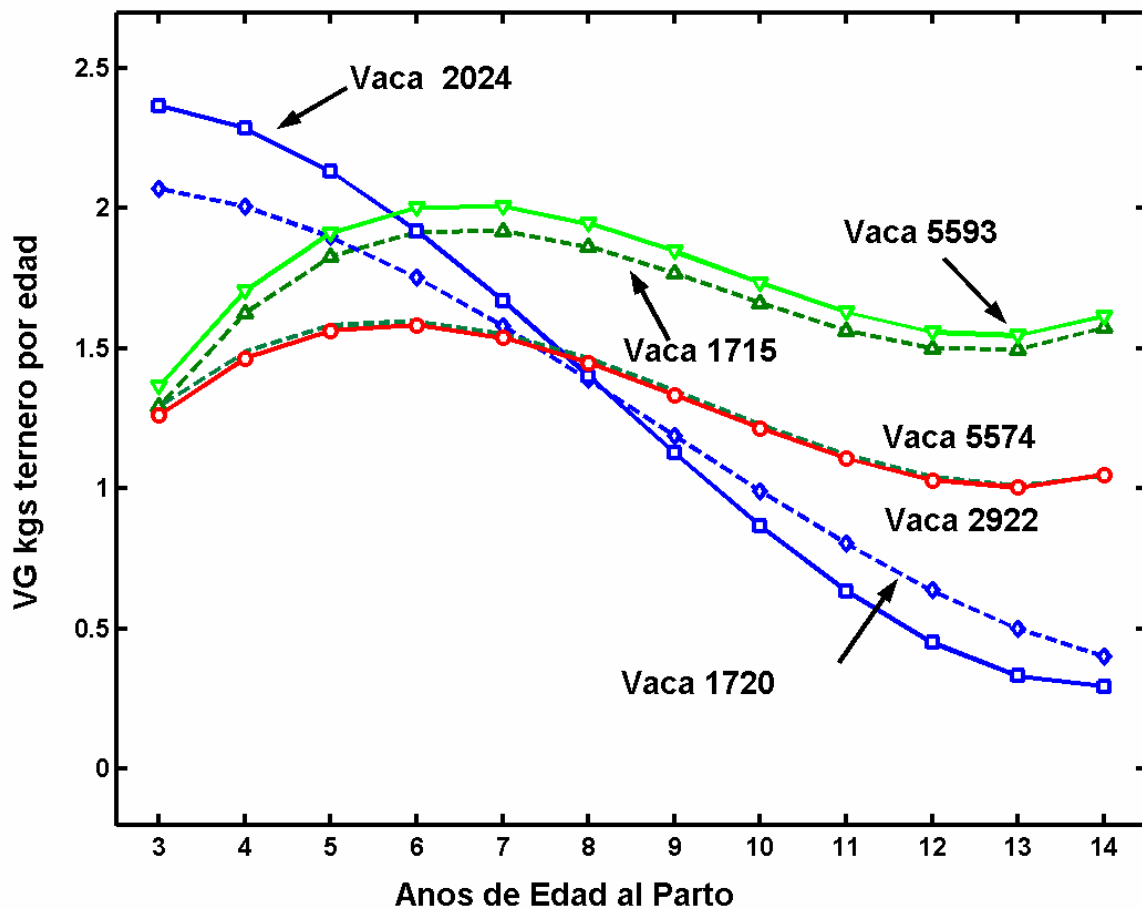
Vacas de 10 años: -1,45 a 2,6

Vacas de 14 años: -3 a 4,5

En este caso el rango de los valores genéticos es como mínimo superior al 75% del rango de la productividad acumulada a estas mismas edades.

Destaca también al existencia de claras diferencias genéticas entre la curva de productividad de las reproductoras analizadas. En la figura 20 se representan 6 reproductoras, 4 de ellas con idéntica valoración genética para este carácter a los 3 años de edad y dos con un potencial genético superior. Todas estas vacas fueron identificadas dentro de los mejores 200 animales seleccionados por su VG a los 3 años de edad. Se puede observar la existencia de dos tipos de patrones de evolución de este potencial. Así por ejemplo las vacas 2024 y 1720 van disminuyendo su potencial con respecto a la media de la población al incrementar su edad, presentado en su madurez una peor productividad que el resto. Las vacas 5574 y 2922 a pesar de presentar una curva semejante a la 5593 y 1715 se muestran menos estables que estas a lo largo de su vida productiva.

Figura 20. Variación en la curva de evolución del potencial genético de las vacas evaluadas por su productividad acumulada (kg ternero destetado por mes de vida de la reproductora) en vacas Retintas.



Es evidente que independientemente de otros estudios necesarios, este tipo de evaluación puede brindar beneficios importantes a los criadores. Estos pueden seleccionar los animales que más se adaptan a sus sistema productivo y a su ritmo de amortización de los animales (pueden preferir animales más productivos en los primeros años de vida o decantarse por animales menos productivos en los primeros partos pero que son capaces de mantener el nivel de productividad a más largo plazo). Es decir brindan una flexibilidad enorme para seleccionar el tipo de animal más adecuado al ritmo de reposición deseado.

No obstante, para poder aplicar este nuevo criterio de selección es necesario un mayor control productivo de la explotación (es necesario un control de todos los terneros paridos y destetados por las vacas). También es necesario precisar que al resumir una variable que dependen en gran medida del manejo de reproductivo de las vacas (momento en que el ganadero decide echarle por primera vez el macho y tiempo que están las vacas con los sementales a lo largo del año básicamente) y a pesar de que los modelos matemáticos empleados son capaces de corregir por el efecto ganadería y año de nacimiento de la vaca, y por tanto por el manejo reproductivo de cada ganadero a lo largo de los años, esta variable sigue estando muy condicionada por cambios puntuales en esta rutina de manejo reproductivo de un ganadero particular. No obstante si la conexión genética es fuerte, y durante la campaña no se modifica el manejo reproductivo para un determinado lote de reproductoras, la confiabilidad de los resultados es alta.

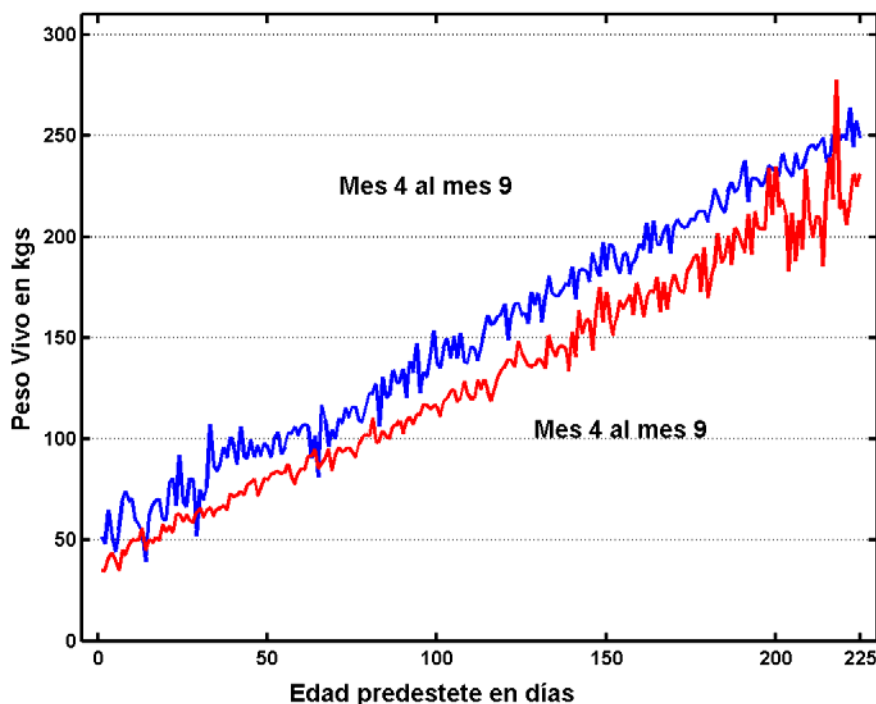
## APLICACIÓN DE MODELOS DE NORMA DE REACCIÓN: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD GENÉTICA DE ADAPTACIÓN AL STRESS CLIMÁTICO

Este análisis del estudio se plantea como modelo para demostrar la flexibilidad y potencia de la metodología puesta a punto, más que un análisis definitivo del problema de la interacción genotipo-ambiente, dado que no se han incluido muchos factores ambientales (pe carga ganadera de la finca, manejo alimenticio ...) importantes, el número de registros productivos para este tipo de análisis ha sido limitado y el rango climático de las explotaciones a la que pertenece la población ha sido muy limitado.

A pesar de esto y de que la población bovina pertenece a una raza autóctona bien adaptada a sus condiciones climáticas donde se explota, los resultados de las variables *THI* y *RS* muestran unas diferencias marcadas entre dos épocas, según se mostró en la figura 1. Para cuantificar estos efectos sobre el peso vivo se llevó a cabo un análisis de modelo lineal de efectos fijos con la base de datos *CLIdatos*, todas las causas de variación fueron significativas, principalmente para la interacción época climática y edad del animal.

En la figura 21 se representan las medias mínimo cuadráticas de un modelo lineal con efectos fijos de ganadería-fecha de control del peso vivo, sexo del ternero, número de parto de la vaca y la interacción entre las dos clase de stress con la edad del animal (ver figura 1).

Figura 21. Evolución del peso vivo en la trayectoria de la edad predestete y en cada clase climática.

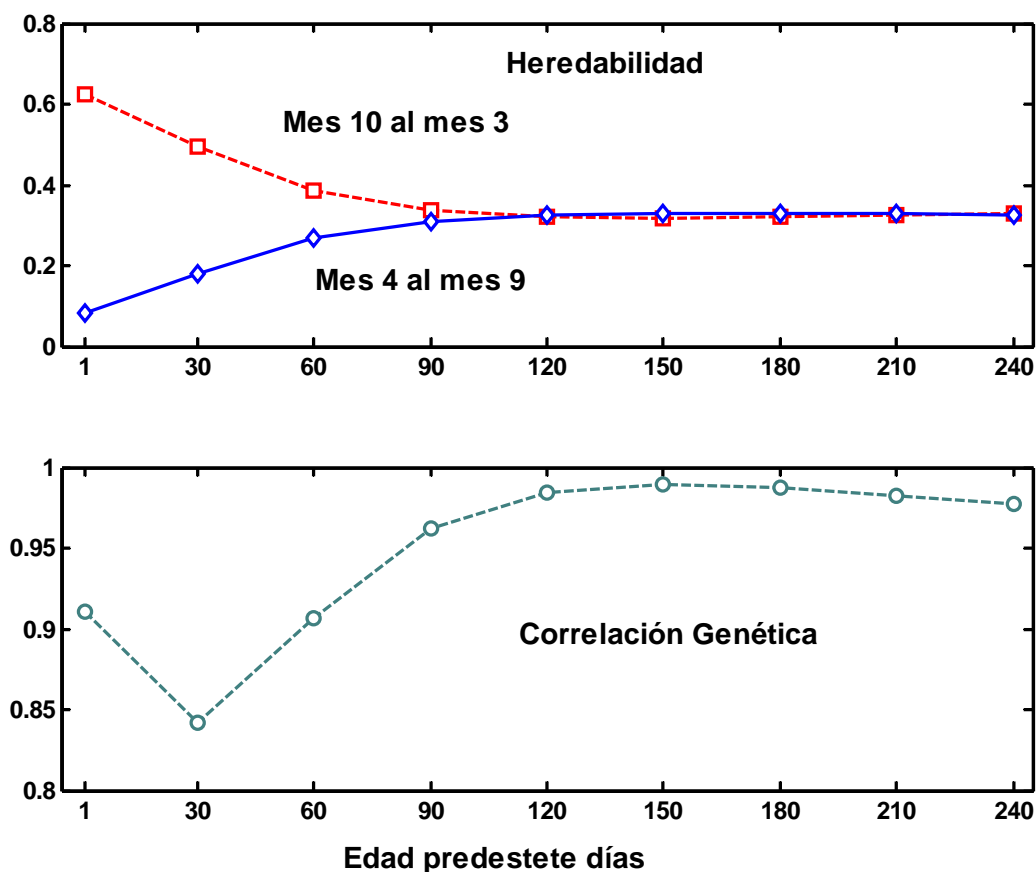




Los resultados indican que el stress climático ejerce un significativo efecto en el crecimiento predestete de los animales y a los 180 días de edad esto representa 43 kgs para los animales que se desarrollan en la época de mayor radiación y THI, probablemente la época de mayor abundancia de los pastos.

La interrogante que resta es conocer los parámetros genéticos para el mismo rasgo medido en las dos épocas así como el nivel de correlación genética. La figura 22 muestra los resultados. Las estimaciones de  $h^2$  para el mismo rasgo en cada época muestran un patrón totalmente contrario en los primeros 90 días de edad y posteriormente los valores de  $h^2$  son prácticamente iguales. Las estimaciones para las correlaciones genéticas son en sentido general altas, aunque hay que señalar que en los primeros 90 días se manifiestan cambios ligeros pero con la misma tendencia que la señalada previamente.

Figura 22. Heredabilidad y Correlaciones Genéticas del peso vivo en toda la trayectoria del período predestete en las dos épocas climáticas.



Aún cuando globalmente la interacción no alcanzó el nivel significativo, es evidente que en los primeros 3 meses de edad existen diferencias genéticas importantes, pero el rango de variación ambiental y la magnitud de la base de datos no han permitido una mayor precisión. No obstante, es posible especular que el stress esté afectando más a la habilidad materna, que al propio potencial de crecimiento del ternero. Este stress actuaría provocando una disminución en la producción láctea de la reproductora, lo cual afectaría al crecimiento del ternero, observándose que precisamente a 90 días comienza a aumentar el antagonismo entre efecto directo y materno. De todas formas reiteramos que este análisis debería completarse con datos de terneros explotados en condiciones ambientales más diferentes, así como registrar otras variables, tanto ligadas a la alimentación disponible, como a la condición corporal de las vacas antes del parto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ESTE ESTUDIO

Independientemente de algunas inconsistencias y dificultades encontradas en la base de datos disponible, todos los análisis han demostrado que existe una amplia variabilidad genética, tanto para el crecimiento propio de los animales en la etapa predestete como en la productividad de sus madres, de manera que una primera conclusión es que existe un amplio espacio para el trabajo de selección y mejora de esta raza. Hay varios elementos muy estimulantes.

- En primer lugar hay que destacar el nivel de producción al destete del ternero retinto. Según nuestros resultados una vaca desteta de media un ternero de 224 kgs a 197 días (para una reproductora con un peso adulto medio de unos 550-600 kg), manteniendo una tasa de madurez hasta el noveno parto (+23.9 % respecto al primer parto), una larga vida reproductiva y productiva (esta medida por los kgs de ternero destetado por mes de vida de la vaca es de 2.5 veces superior a los 10 años de vida con relación a los partos de 3 años).
- En segundo término los propios datos demostraron la existencia de una amplia variabilidad genética no sólo en crecimiento predestete de los terneros sino también en la forma de respuesta de los diferentes partos de la vaca y de la productividad acumulada de esta.
- Nuestros resultados confirman también la alta habilidad materna de esta raza. El antagonismo entre efectos directos y maternos fue claramente evidenciado en este estudio, en forma semejante a las publicaciones sobre este tema, de manera que no se estima necesario más comentarios al respecto. Sin embargo vale la pena resaltar la magnitud de la variabilidad entre los VG de los animales permite llevar a cabo un trabajo de selección muy especial que atenúe tal antagonismo.
- En cuarto lugar resaltar lo novedoso de las estimaciones de parámetros genéticos para diferentes medidas de productividad de las vacas en el caso del vacuno de carne. No se han encontrado referencias sobre este tema y aunque la terminología "*estamos interesados en la productividad de las vacas*" es muy común entre ganaderos y genetistas de diferentes

orígenes y países, la realidad indica que es muy poco lo que se ha hecho y es muy probable que la divulgación adecuada de estos conceptos y resultados puedan coadyuvar a una mayor productividad de los rebaños.

Tras la comparación de los parámetros genéticos y del valor genético de los animales obtenidos por la metodología clásica del BLUP y por la de Regresión Aleatoria (RA) se puede concluir que si bien en los efectos genéticos directos no existen grandes diferencias en el peso de referencia (peso 180 días) entre ambos procedimientos, estas son evidentes en cuanto a los efectos genéticos maternos, en el que el BLUP tiene mayores dificultades en su estimación. Si a esto unimos las ventajas de la metodología RA sobre el BLUP que se citaron anteriormente (permite valorar genéticamente para los diferentes puntos de la curva de crecimiento, es capaz de utilizar toda la información disponible, y no es necesario tipificar a una edad tipo, evitando el mayor o menor error de tipificación....) se puede concluir la recomendación de utilizar esta metodología en vez de la del BLUP. No obstante para ello es necesario una mayor calidad de los datos, especialmente en cuanto a conexiones genéticas entre ganaderías, y en el control exhaustivo de todos los partos de la vaca.

A la vista de los resultados obtenidos en la comparación de los terneros destetados de los diferentes partos de las reproductoras se propone un cambio en la valoración diferenciando el ternero de primer parto y del resto de partos de las reproductoras, algo semejante a lo que ya se viene realizando en el caso de las diferentes lactaciones del vacuno de leche.

Por otra parte dada la baja correlación genética entre el peso al destete del ternero del primer parto con el de los partos siguientes se recomienda no seleccionar vacas como madres de futuro reproductores hasta que no hayan

tenido al menos dos partos.

Por otra parte, el nuevo criterio de selección analizado (productividad acumulada medida como kgs de ternero destetado por la reproductora por mes de vida a lo largo de su vida productiva, ha manifestado una buena heredabilidad a lo largo de todo el periodo analizado, 14 años). Así mismo se han encontrado claras diferencias entre ganaderías y dentro de estas entre los animales estudiados, lo que es indicativo por una parte de la fuerte influencia del manejo en esta variable y por la otra de la existencia de diferencias genéticas entre los animales. De todo esto se deduce la recomendación de revisar el manejo reproductivo y alimenticio que se está llevando a cabo en determinadas explotaciones que tiene graves problemas de longevidad de sus reproductoras. Así mismo se recomienda incorporar este nuevo criterio de selección al Esquema de la raza Retinta con la finalidad de dotar al técnico y ganadero de una herramienta que le permita una gran flexibilidad a la hora de diseñar su sistema productivo, y decidir, teniendo en cuenta la amortización que quiera de sus animales, si selecciona animales longevos y estables en su nivel de productividad o bien animales con mayores productividades a corto plazo aún a costa de una menor longevidad.

No obstante, para poder aplicar este nuevo criterio de selección es fundamental un mayor control productivo de la explotación (es necesario un control de todos los terneros paridos y destetados por las vacas). También es necesario precisar que al resumir una variable que dependen en gran medida del manejo de reproductivo de las vacas (momento en que el ganadero decide echarle por primera vez el macho y tiempo que están las vacas con los sementales a lo largo del año básicamente) y a pesar de que los modelos

matemáticos empleados son capaces de corregir por el efecto ganadería y año de nacimiento de la vaca, y por tanto por el manejo reproductivo de cada ganadero a lo largo de los años, esta variable sigue estando muy condicionada por cambios puntuales en esta rutina de manejo reproductivo de un ganadero particular. No obstante si la conexión genética es fuerte, y durante la campaña no se modifica el manejo reproductivo para un determinado lote de reproductoras, la confiabilidad de los resultados es alta.

Finalmente es necesario plantear que en las condiciones de este análisis no se encontraron efectos significativos de la interacción genotipo-ambiente (condición climática), pero existen evidencias en los primeros tres meses de vida del ternero que permiten realizar una última recomendación ligada a la necesidad de profundizar en este tema incrementando el rango de ambientes en los que han sido controlados los terneros y el de factores ambientales a tomar en consideración (especialmente los relacionados con la característica de la finca y el nivel de suplementación de los animales).

## ANEXOS.

### ANEXO I. GANADERÍAS GADITANAS UTILIZADAS PARA ESTE ESTUDIO.

<b>Sigla</b>	<b>Finca</b>	<b>Localidad</b>
CA	El Mastral	Tarifa
CH	El Guijarro	Chiclana de la Frontera
CJ	Saladaviciosa	Facinas
CU	Los Almeriques	Medina Sidonia
DK	Montemarismas	Vejer de la Frontera
JZ	Montes Propios	Jerez de la Frontera
KG	Las Piñas	Facinas
KT	El Pozuelo	Tarifa
LH	Cortijo Sancho	Jimena de la Frontera
MW	Pedro Valiente	Tarifa
NB	Brocon	Tarifa
NC	La Palmosilla	Tarifa
VY	Valcargado	Medina Sidonia
VZ	Las Zorrillas	Alcalá de los Gazules

## ANEXO II. DESARROLLO MATEMÁTICO RESUMIDO DE LOS MODELOS DE RR UTILIZADOS PARA ESTE ESTUDIO.

Desde el punto de vista estadístico los datos individuales registrados en cada visita a las ganaderías, se analizaron de acuerdo a diferentes modelos lineales que permitieron identificar las principales causas de variación que afectan el peso vivo predestete y la productividad de las vacas Retintas. Además de facilitar todo el resto de las estimaciones, estos procedimientos iniciales posibilitaron llevar a cabo una adecuada representación de la curva de crecimiento de esta raza así como de algunos de los factores que la afectan. Resultados previos indicaron que todos los efectos fijos y aleatorios planteados en el modelo ejercieron efectos significativos sobre las diferentes expresiones del peso vivo de cada animal.

El procedimiento estadístico fue un modelo de regresión aleatoria (**RRM**) según el siguiente modelo:

$$y = Xb + \sum_{k=0}^{k_a} Z_1 a_k + \sum_{k=0}^{k_m} Z_2 m_k + \sum_{k=0}^{k_p} Z_3 p_k + \sum_{k=0}^{k_w} Z_4 w_k + \epsilon_r$$

donde

**y** es un vector del peso vivo del  $i^{\text{th}}$  animal a la edad  $j$ .

**b** es un vector de efectos fijos debido a la combinación ganadería-año-época de control, número de partos de la hembra y el sexo de la cría.

**a<sub>k</sub>** y **m<sub>k</sub>** son conjuntos (de dimensión  $n = \text{numero de animales}$ ) de  $k$  coeficientes de regresión aleatorios de orden  $k_a$  y  $k_m$  para los efectos genéticos aditivos directos (**a**) y maternos (**m**) respectivamente.

**p<sub>k</sub>** y **w<sub>k</sub>** son conjuntos de dimensión  $I_n$  e  $I_w$  (**w** = numero de madres), para los efectos aleatorios de ambiente permanente individual (**p**) debido a las repeticiones de la variable dependiente en cada animal y para los efectos aleatorios de ambiente materno permanentes (**w**). El orden de ajustes de los  $k$  coeficientes de regresión aleatorios fueron  $k_p$  y  $k_w$  para los mismos efectos.

**Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>** y **Z<sub>4</sub>** corresponden a matrices de incidencia de dimensión  $n \times k_a$  ( $k_p$ ) para **Z<sub>1</sub>** y **Z<sub>3</sub>** y de dimensión  $w \times k_m$  ( $k_w$ ) para **Z<sub>2</sub>** y **Z<sub>4</sub>**. Estas matrices contienen como elementos a  $Z_i = \Phi_i = \sum V_i(t_{ij}^*)$  donde  $V_i$  son los coeficientes del polinomio de Legendre seleccionado y  $t_{ij}^*$  es la edad expresada en forma estandarizada entre  $-1$  a  $+1$  lo que es necesario para la utilización de los polinomios ortogonales ( $\Phi_i$ ) de orden  $k_i$ . El símbolo  $\sum$  significa que los efectos totales se estiman como sumatoria de los correspondientes términos  $\Phi_i$ .

$\epsilon_r$  es un vector de efecto residual aleatorio con varianza heterogénea.



Las soluciones EMM para los efectos incluidos en este modelo serán:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z_1 & X'Z_2 & X'Z_3 & X'Z_4 \\ Z_1'X & Z_1'Z_1 + A^{-1} \otimes K_a^{-1} & Z_1'Z_2 + A^{-1} \otimes K_{am}^{-1} & Z_1'Z_3 & Z_1'Z_4 \\ Z_2'X & Z_2'Z_1 + A^{-1} \otimes K_{ma}^{-1} & Z_2'Z_2 + A^{-1} \otimes K_m^{-1} & Z_2'Z_3 & Z_2'Z_4 \\ Z_3'X & Z_3'Z_1 & Z_3'Z_2 & Z_3'Z_3 + I_p \otimes K_p^{-1} & Z_3'Z_4 \\ Z_4'X & Z_4'Z_1 & Z_4'Z_2 & Z_4'Z_3 & Z_4'Z_4 + I_w \otimes K_w^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \\ m \\ p \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z_1'y \\ Z_2'y \\ Z_3'y \\ Z_4'y \end{bmatrix}$$

donde A es una matriz del numerador de las relaciones de parentesco previamente definida,  $\otimes$  es el símbolo de producto Kronecker y  $K_i$  es la matriz de (co)varianza de los coeficientes de regresión aleatorios propios de los efectos indicados en los subíndices.

Con los elementos expuestos se obtiene una compleja estructura de (co)varianza entre interceptos y coeficientes de regresión tanto para efectos genéticos directos ( $a_0$  y  $a_1$ ) como maternos ( $m_0$  y  $m_1$ ); para los efectos permanentes individuales ( $p_0$  y  $p_1$ ) y para los efectos permanentes maternos ( $w_0$  y  $w_1$ ). Esta estructura global de (co)varianza para los efectos aleatorios de este modelo 2 y un orden de ajuste de 1 (ecuación lineal) será:

$$V \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ m_0 \\ m_1 \\ p_0 \\ p_1 \\ w_0 \\ w_1 \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_{a_0}^2 & A\sigma_{a_{10}} & A\sigma_{m_0a_0} & A\sigma_{m_1a_0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_{01}} & A\sigma_{a_1}^2 & A\sigma_{m_0a_1} & A\sigma_{m_1a_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_0m_0} & A\sigma_{a_1m_0} & A\sigma_{m_0}^2 & A\sigma_{m_1m_0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_0m_1} & A\sigma_{a_1m_1} & A\sigma_{m_0m_1} & A\sigma_{m_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_n\sigma_{p_0}^2 & I_n\sigma_{p_{10}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_n\sigma_{p_{01}} & I_n\sigma_{p_1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_w\sigma_{w_0}^2 & I_w\sigma_{w_{10}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_w\sigma_{w_{01}} & I_w\sigma_{w_1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sum_{c=1}^{10} r_c \end{bmatrix}$$

El término  $\sum_{c=1}^{10} r_c$  representa los efectos de la varianza residual heterogénea.

Todas las estimaciones se llevaron a cabo con el software ASREML desarrollado por Gilmour y col., (2000). El ASREML brinda no sólo las soluciones

para todos los efectos incluidos en ambos modelos sino también para todos los componentes de varianza descritos previamente. Sin embargo, los resultados de RRM deben recibir un tratamiento adicional. Siguiendo la propuesta de Jamrozik and Schaeffer (1997), las varianzas para efecto directo ( $\sigma_{a_j}^2$ ) y para efecto genético materno ( $\sigma_{m_j}^2$ ) del  $PV_i$  a la  $j$  edad se pueden estimar por:

$$\sigma_{a_j}^2 = \Phi_{a_j} K_a \Phi_{a_j}'$$

$$\sigma_{m_j}^2 = \Phi_{m_j} K_m \Phi_{m_j}'$$

Para las varianzas de los efectos de ambiente permanente individual ( $\sigma_{p_j}^2$ ), y para los de efectos permanentes de ambiente materno ( $\sigma_{w_j}^2$ ) serán:

$$\sigma_{p_j}^2 = \Phi_{p_j} K_p \Phi_{p_j}'$$

$$\sigma_{w_j}^2 = \Phi_{w_j} K_w \Phi_{w_j}'$$

Por otra parte las covarianzas genéticas entre las edades  $j$  y  $k$  para los efectos genéticos directos ( $\sigma_{a_{jk}}$ ) y materno ( $\sigma_{m_{jk}}$ ) se estimarán por:

$$\sigma_{a_{jk}} = \Phi_{a_j} K_a \Phi_{a_k}'$$

$$\sigma_{m_{jk}} = \Phi_{m_j}' K_m \Phi_{m_k}'$$

Las covarianzas entre efectos genéticos directos y maternos ( $\sigma_{am_{jk}}$ ) entre cualquier par de edades se estima en forma similar pero con los correspondientes elementos.

La versión actual de ASREML brinda los coeficientes de los polinomios ( $\Phi$ ) para todos los puntos de la trayectoria de la edad representada en los datos. Con todos los componentes previos se puede estimar la varianza fenotípica total para la edad que se desee adicionando la varianza residual correspondiente al grupo de edad en cuestión. La heredabilidad a la  $j$  edad y las correlaciones genéticas para cualquier par de edades se estiman por métodos clásicos. En este procedimiento de RRM se obtienen soluciones para cada animal para los  $k_i$  coeficientes de regresión aleatorios con los cuales se pueden estimar los Valores Genéticos ( $VG^i$ ) para cualquier punto de la trayectoria del período predestete de la raza Retinta. A modo de ejemplo, para el  $i$  animal el VG a 90 días será:

$$VG_{90}^i = \sum_{k=0}^{k_a} \Phi_{90} a_i'$$

donde  $a_i = [ \text{alfa}_x \text{ beta}_i \dots \text{beta}_i^n ]$  representa la solución para el animal  $i$  que está conformado por un intercepto ( $\text{alfa}_x$ ) o nivel genético medio para el efecto  $x =$  directo o  $x =$  materno y por otro lado  $\text{beta}_i$  representa los coeficientes de regresión aleatorios de orden  $k_i$ . Nótese que en esta formulación sólo cambia el valor  $\Phi_i$ , es decir, los coeficientes del polinomio correspondiente a la  $i$  edad que se requiera, mientras que el valor de  $a_i$  es el mismo para cada animal y corresponde con las soluciones que proporciona el ASREML.

La elección del mejor modelo se llevó a cabo aplicando likelihood ratio test y contrastando las diferencias mediante el valor de  $\chi^2$  correspondiente a una probabilidad del error  $\alpha = 5\%$ .

Para la estimación de los parámetros genéticos de la Productividad de las vacas, el modelo estadístico es muy similar, excepto que los coeficientes de Legendre están expresados en una escala del número de parto (1 al 11 o más) o de la edad de las vacas (3 a 14 años) quien toma la posición de animal. La varianza residual tomó sólo 7 niveles.

Los resultados de la evolución de los componentes de varianza y del VG de cada animal en cada punto de la trayectoria y condición de stress térmico (2 niveles), se llevó a cabo de igual manera sólo que los parámetros se brindan tanto para cada nivel de stress y entre ambos.

Dado que el número de parámetros varía entre modelos, para la selección del modelo de mejor ajuste se aplicaron los criterios informativos Akaike Information Criterion (AIC) y Bayesian Information Criterion (BIC), siguiendo la misma estrategia aplicada por Fischer y col., (2004) en un estudio de crecimiento en ovinos.

$$\text{AIC} = -2\log\mathfrak{L} + 2p$$

$$\text{BIC} = -2\log\mathfrak{L} + p\log(N-x)$$

donde

**p** es el número de componentes de (co)varianza estimados.

**N-x** representan los grados de libertad residual.

**log $\mathfrak{L}$**  es log de la máxima verosimilitud del modelo.

### **ANEXO III. EJEMPLO DE LA VALORACIÓN GENÉTICA DE UNA REPRODUCTORA TIPO.**

Con la finalidad de mostrar el potencial de la metodología empleada se muestra un modelo de ficha donde se recoge la información disponible y las valoraciones genéticas obtenidas para todos los caracteres evaluados.

Nº de identificación	DK- 350-S	Criador	DK
Nacional	ES000102142303	Ult. ganad. en control	DK
Nº de registro	RD-28547	Propietario	DK
Fecha de nacimiento	15/01/1993	Provincia	Cádiz

### Genealogía

	DK- 838-M/ Marinero	TM- 905-C/ Calígula
DK- 350-S/Salerosa		EF- 505-I/ Ibérica
	DK- 938-N/ Nítrica	MO- 011/ Generoso
		EF- 523-I/ Impoluta

### Datos de la descendencia

Nº Crías controladas	11	Nº de crías con P180	11
Peso destete (kg)	244,4	Peso 180 días (kg)	212,8
Edad destete (días)	207	Nº de crías con P120	11
Ganancia destete	1,010	Peso 120 días (kg)	147,1

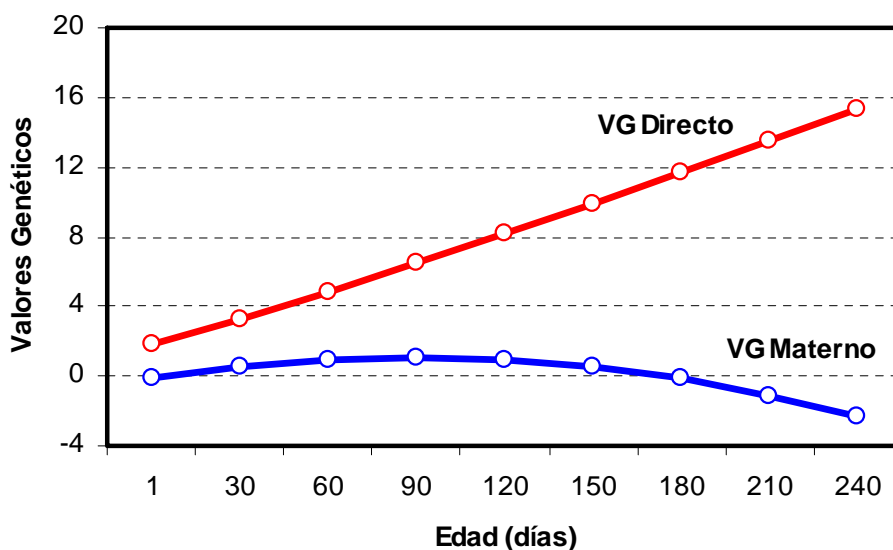
### Fertilidad

Edad 1er parto	34 meses	Intervalo entre partos	13,1 meses
----------------	----------	------------------------	------------

## VALORACIÓN GENÉTICA

### Crecimiento predestete

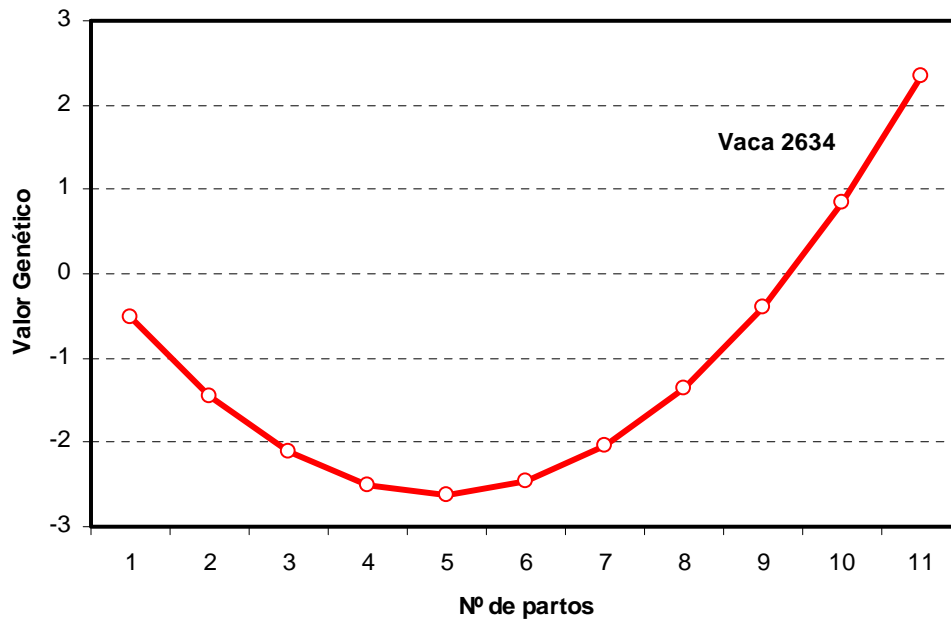
(Valores genéticos directo y materno de la reproductora para el carácter crecimiento predestete)



## VALORACIÓN GENÉTICA

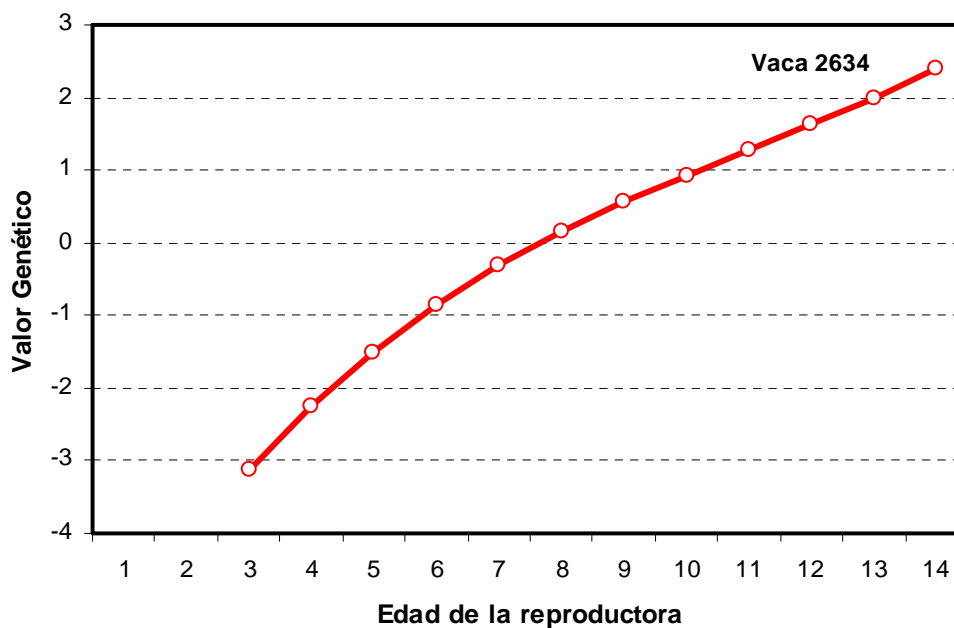
### Productividad

(Valor genético de la reproductora para el carácter peso a los 180 días de las crías de cada parto)



### Productividad Acumulada

(Valor genético de la reproductora para el carácter kg de ternero destetado por mes de vida)



## ANEXO IV. RELACIÓN DE SEMENTALES CON VALORACIÓN GENÉTICA POSITIVA PARA PRODUCTIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD ACUMULADA DE SUS HIJAS.

En esta relación se presentan los sementales mejorantes en algunos de los caracteres de referencia (valor genético para la productividad al primer parto, al segundo parto, y la productividad acumulada hasta los 7, los 10 y los 14 años). Se presenta también el número de hijas y nietos controlados, las medias para el peso a los 180 días de éstos, y la edad al primer parto y el interparto de sus hijas.

		Nº de descendientes controlados		Medias carácter productivo (kg)		Medias caract. reproductivos hijas (meses)		Valoración Genética peso al destete		Productividad acumulada (kgs de ternero destetado/mes de vida)		
Sigla	Semental	Hijas	Nietos	P180 nietos	P180 hijos	Edad 1er parto	Interparto	1er Parto	2º Parto	7 Años	10 Años	14 Años
	MO- 011	4	17	203,47	205,84	32,3	12,5	-7,57	-7,54	0,88	1,34	2,02
	MP- 018-D	4	9	155,83	195,60	36,2	18,4	-6,69	-7,87	-0,07	0,55	1,37
	RN- 313-G	3	6	213,45	186,69	36,1	11,4	1,91	0,89	1,00	0,69	0,47
	TM- 905-C	5	13	187,90	202,65	33,2	13,1	-0,70	-1,39	-0,80	0,20	1,34
AQ	AQ- 941-B	4	6	186,44	206,89	41,4	11,0	-7,05	-6,33	-1,68	-0,17	1,60
CA	CA- 410-T	10	34	213,66	194,46	32,7	14,6	6,69	4,56	-1,14	-0,55	0,13
CA	DA- 615-V	5	20	212,43	194,51	32,6	14,4	-0,29	0,58	1,06	1,25	1,75
CA	E- 673-V	4	11	189,65	207,65	34,1	12,7	-11,34	-8,99	1,04	1,90	3,26
CA	JM-1039-E	1	1	240,00	201,88	26,0		-5,07	-2,70	-0,75	-0,88	-0,89
CA	MP- 825-M	4	18	181,45	201,96	33,6	15,2	-22,57	-20,20	-0,39	0,31	1,16
CH	CA- 805-A	16	26	199,02	213,93	36,5	14,3	4,80	4,35	-0,80	0,05	1,20
CH	CH- 006-C	4	4	190,23	231,25	33,8		3,18	2,81	0,05	0,63	1,29
CH	CH- 224-E	3	3	189,32	200,50	36,3		2,60	2,58	-0,64	-0,06	0,49
CH	CH- 325-S	17	52	198,20	161,80	39,2	14,6	-2,07	-1,38	0,81	1,07	1,29
CH	VZ- 749-Z	45	89	203,32	208,24	35,8	15,0	7,96	7,44	-0,06	0,98	2,42
CJ	KJ- 904-B	7	8	172,02	197,52	40,9	14,1	-7,45	-5,99	-0,69	-0,05	0,66
CJ	MP- 087-C	3	5	230,57	262,76	34,2	11,2	0,26	0,02	-0,17	0,42	1,20
DK	DK- 022-O	1	1	279,00	190,66	27,0		1,59	0,68	1,14	1,22	1,47
DK	DK- 304-S	20	95	209,06	225,65	35,3	13,1	3,80	4,31	-1,71	0,29	2,69

Sigla	Semental	Nº de descendientes controlados		Medias carácter productivo (kg)		Medias caract. reproductivos hijas (meses)		Valoración Genética peso al destete		Productividad acumulada (kgs de ternero destetado/mes de vida)		
		Hijas	Nietos	P180 nietos	P180 hijos	Edad 1er parto	Interparto	1er Parto	2º Parto	7 Años	10 Años	14 Años
DK	DK- 812-A	28	51	170,41	219,68	35,3	14,3	-3,73	-2,51	-2,00	0,38	3,25
DK	DK- 838-M	19	130	221,10	223,09	34,3	13,8	2,28	0,38	-1,18	0,52	2,56
DK	DK- 840-M	6	23	179,69	206,87	32,3	14,5	7,28	5,80	-1,08	-0,01	1,25
DK	JM-1060-E	2	18	211,57	218,46	34,2	12,0	4,23	4,72	0,85	1,54	2,61
GS	AN- 006-O	1	1	241,50	209,99	35,0		6,71	6,32	-0,93	-0,04	0,95
JM	JM-8025-A	2	3	202,50	203,47	33,0	14,2	2,02	1,33	0,43	0,74	1,29
JM	JM-9018-N	1	7	203,77	184,81	30,0	13,5	8,28	6,01	0,18	0,82	1,76
JZ	AN- 805-A	1	1	241,91	193,12	41,0		1,77	1,65	-0,20	0,01	0,25
JZ	DK- 469-T	15	26	204,05	181,03	39,5	16,9	9,25	7,03	-0,03	0,59	1,45
JZ	DK- 538-U	3	5	235,26	220,55	40,9	13,6	8,92	6,56	0,19	1,05	2,17
JZ	DK- 703-L	1	11	232,72	163,88	34,0	12,0	3,53	2,02	1,27	1,26	1,30
JZ	DK- 715-L	23	111	184,86	203,33	41,2	14,7	2,43	-1,66	1,35	1,88	2,64
JZ	DK- 734-Z	5	8	188,15	177,65	41,5	13,0	2,90	2,43	-0,69	0,72	2,42
JZ	DK- 806-A	10	22	207,23	196,20	41,2	14,3	13,15	10,60	0,24	1,15	2,49
JZ	FA- 208-R	43	128	195,07	174,62	40,8	14,6	8,79	7,21	0,41	1,44	2,82
JZ	FA- 310-S	2	9	207,99	153,17	35,4	13,7	4,91	4,10	0,64	0,71	0,92
JZ	JZ- 801-M	4	9	177,76	153,50	42,1	16,4	1,32	-0,24	1,05	1,31	1,89
JZ	JZ- 802-M	5	13	182,59	204,47	36,5	12,8	2,67	2,14	1,13	1,31	1,86
JZ	VZ- 844-A	6	13	188,25	228,02	45,6	14,8	0,51	0,51	-1,57	-0,57	0,56
KG	AQ- 729-Z	1	1	131,68	211,82	38,0		-4,59	-4,68	-2,36	-1,36	-0,42
KT	NB- 815-A	2	3	178,03	208,20	37,6	11,2	1,48	1,20	-0,19	0,40	1,13
KV	J- 304-S	1	2	196,49	185,93	37,0	13,5	-0,72	-0,93	-0,12	0,29	0,80
LH	AN- 030-O	1	3	175,53	192,79	32,0	20,6	6,87	6,59	0,66	0,62	0,57
LH	LH- 315-S	10	15	176,20	168,31	38,3	18,3	0,30	0,57	-0,11	-0,12	-0,19
LH	LH- 606-V	5	7	188,43	182,51	39,6	15,1	3,29	1,46	-0,44	-0,07	0,41
LH	LH- 702-Z	5	7	164,16	176,89	35,6	15,3	-8,76	-8,03	-0,86	-0,34	0,29
LH	LH- 903-B	1	1	146,41	175,73	34,0		-3,06	-2,58	-0,20	0,31	0,93



Sigla	Semental	Nº de descendientes controlados		Medias carácter productivo (kg)		Medias caract. reproductivos hijas (meses)		Valoración Genética peso al destete		Productividad acumulada (kgs de ternero destetado/mes de vida)		
		Hijas	Nietos	P180 nietos	P180 hijos	Edad 1er parto	Interparto	1er Parto	2º Parto	7 Años	10 Años	14 Años
MW	DA- 611-V	8	16	187,82	213,74	34,8	14,2	-8,45	-6,49	2,14	1,86	1,90
MW	UP- 103-D	3	3	173,53	221,64	37,7		-3,57	-2,74	-0,54	0,15	0,96
MW	VZ- 919-B	2	2	154,43	197,73	35,0		1,53	1,16	-0,31	0,27	0,95
MW	XZ- 961-B	1	1	230,26	212,50	37,0		2,83	2,51	-0,43	0,02	0,53
NB	CA- 005-O	8	31	203,70	159,47	36,0	16,5	-3,11	-1,55	-1,43	-1,12	-0,81
NB	DK- 430-T	12	28	209,07	179,03	35,3	14,8	-0,69	-1,70	-0,48	0,88	2,46
NC	AN- 119-E	4	11	202,79	176,25	35,7	14,0	5,86	5,04	1,77	1,43	1,12
NC	FA- 308-S	8	21	191,64	165,85	36,2	14,6	4,63	3,73	-0,26	0,21	0,80
NC	NC- 104-D	2	2	137,21	184,72	34,0		10,87	9,49	0,52	0,61	0,87
NC	NC- 401-T	13	19	186,44	161,04	37,1	19,4	8,85	7,72	-0,20	0,28	0,85
NC	NC- 702-Z	9	18	178,42	170,94	38,7	15,0	9,27	8,61	0,67	0,92	1,36
NC	NC- 910-N	17	38	157,79	178,71	38,0	15,6	-14,64	-15,75	-0,89	-0,12	0,84
ND	AQ- 020-C	2	2	286,19	219,43	38,0		1,70	0,96	-1,21	-0,09	1,23
ND	AQ- 309-S	2	3	173,39	190,71	36,0	15,0	-4,33	-4,66	-1,71	-0,36	1,20
RX	AQ- 308-S	2	3	166,39	195,47	41,0	11,1	-7,22	-6,40	-1,32	-0,27	0,92
VO	VO- 905-N	1	5	168,98	176,04	42,0	15,1	3,08	2,08	-0,21	0,51	1,41
VY	DK- 503-U	28	31	137,44	159,40	39,1	17,8	-1,01	-0,75	-0,51	0,50	1,75
VY	DK- 706-Z	2	2	174,63	153,51	37,0		11,16	9,81	-0,2	0,96	2,51
VY	FA- 782-L	4	11	153,55	192,49	44,7	18,7	-6,70	-3,17	2,23	1,62	0,99
VY	TG- 201-R	22	59	138,84	163,05	35,0	16,9	-15,09	-12,08	-1,02	-0,48	0,12
VY	VO- 007-O	6	25	171,61	179,44	34,6	15,0	4,78	6,10	1,22	1,49	2,02
XZ	JM-3051-G	2	13	221,46	217,33	33,2	14,7	0,07	-1,19	2,07	2,55	3,36
ZR	DK- 913-B	2	2	104,86	195,12	34,0		5,86	4,95	-0,71	0,95	3,03
ZR	PL- 108-E	4	34	234,94	213,42	34,0	12,6	13,70	11,96	0,10	0,26	0,52
ZU	DK- 447-T	16	53	203,09	190,09	35,4	14,1	1,43	1,04	-0,60	0,75	2,41

Ranking de los 10 mejores sementales para el valor genético del peso al destete al primer y segundo parto de sus hijas.

Semental	VG 1er parto
PL- 108-E	13,70
DK- 806-A	13,15
DK- 706-Z	11,16
NC- 104-D	10,87
NC- 702-Z	9,27
DK- 469-T	9,25
DK- 538-U	8,92
NC- 401-T	8,85
FA- 208-R	8,79
JM-9018-N	8,29

Semental	VG 2º parto
PL- 108-E	11,96
DK- 806-A	10,60
DK- 706-Z	9,81
NC- 104-D	9,49
NC- 702-Z	8,61
NC- 401-T	7,72
VZ- 749-Z	7,44
FA- 208-R	7,21
DK- 469-T	7,03
AN- 030-O	6,59

Ranking de los 10 mejores sementales para el valor genético de la productividad acumulada hasta los 7, los 10 y los 14 años de sus hijas.

Semental	VG 7 años
FA- 782-L	2,23
DA- 611-V	2,14
JM-3051-G	2,07
AN- 119-E	1,77
DK- 715-L	1,35
DK- 703-L	1,27
VO- 007-O	1,22
DK- 022-O	1,14
JZ- 802-M	1,13
DA- 615-V	1,06

Semental	VG 10 años
JM-3051-G	2,55
E- 673-V	1,90
DK- 715-L	1,88
DA- 611-V	1,86
FA- 782-L	1,62
JM-1060-E	1,54
VO- 007-O	1,49
FA- 208-R	1,44
AN- 119-E	1,43
MO- 011	1,34

Semental	VG 14 años
JM-3051-G	3,36
E- 673-V	3,26
DK- 812-A	3,26
DK- 913-B	3,03
FA- 208-R	2,82
DK- 304-S	2,69
DK- 715-L	2,64
JM-1060-E	2,60
DK- 838-M	2,56
DK- 706-Z	2,52