

# ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE VARIABLES FUNCIONALES EN EL CABALLO TROTADOR ESPAÑOL: DESARROLLO DE NUEVAS METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN GENÉTICA



M<sup>a</sup> Dolores Gómez Ortiz



TITULO: *Estimación de parámetros genéticos de variables funcionales en el caballo trotador español: desarrollo de nuevas metodologías de valoración genética*

AUTOR: *María Dolores Gómez Ortiz*

---

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2011  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---

ISBN-13: 978-84-694-1652-5









UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE VARIABLES FUNCIONALES  
EN EL CABALLO TROTADOR ESPAÑOL: DESARROLLO DE NUEVAS  
METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN GENÉTICA**

ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR THE PERFORMANCE TRAITS  
IN THE SPANISH TROTTER HORSE: DEVELOPMENT OF NEW  
METHODOLOGIES OF GENETIC EVALUATION

TESIS DOCTORAL

M<sup>a</sup> DOLORES GÓMEZ ORTIZ

2011





UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE VARIABLES FUNCIONALES  
EN EL CABALLO TROTADOR ESPAÑOL: DESARROLLO DE NUEVAS  
METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN GENÉTICA**

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR

**M<sup>a</sup> DOLORES GÓMEZ ORTIZ**

Para optar al Grado de Doctor con Mención Europea  
por la Universidad de Córdoba

DIRECTORES

Sr. D. Antonio Molina Alcalá

Sra. Dña. Mercedes Valera Córdoba

Córdoba, a 17 de enero de 2011





**ANTONIO MOLINA ALCALÁ**  
PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE GENÉTICA  
DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**INFORMA QUE:**

La presente Memoria de Tesis Doctoral titulada: "Estimación de parámetros genéticos de variables funcionales en el Caballo Trotador Español: Desarrollo de nuevas metodologías de valoración genética", realizada por la Licenciada en Veterinaria Dña. M<sup>a</sup> Dolores Gómez Ortiz, ha sido realizada bajo su dirección, y cumple las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor Europeo por la Universidad de Córdoba.

Para que así conste, firma la presente en Córdoba, a diecisiete de enero de dos mil once.





**MERCEDES VALERA CÓRDOBA**  
PROFESORA TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS  
AGROFORESTALES DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**INFORMA QUE:**

La presente Memoria de Tesis Doctoral titulada: "Estimación de parámetros genéticos de variables funcionales en el Caballo Trotador Español: Desarrollo de nuevas metodologías de valoración genética", realizada por la Licenciada en Veterinaria Dña. M<sup>a</sup> Dolores Gómez Ortiz, ha sido realizada bajo su dirección, y cumple las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor Europeo por la Universidad de Córdoba.

Para que así conste, firma la presente en Córdoba, a diecisiete de enero de dos mil once.



*"El fin de un trabajo es principio de otro"*

SÉNECA



## *AGRADECIMIENTOS*

Parece mentira que esta vaya a ser una de las partes más complicadas de escribir de mi Tesis Doctoral. Quizás sea porque es de las que se escriben con el corazón, y no con la cabeza. Y es precisamente ahí, en el corazón, donde llevo y llevaré siempre a todas las personas que me han acompañado y ayudado, en algún momento, en este largo camino hasta conseguir mi objetivo.

Cuando intento resumirlas, me doy cuenta de que son muchas más de las que parecen. Y es que han sido varios años de trabajo y de vida compartidos con mucha gente diferente, que ha contribuido a formarme como investigadora y como persona. A todos vosotros, aunque vuestro nombre no esté específicamente escrito en estas líneas, os quiero hacer llegar mi más sincero reconocimiento y gratitud.

Es un honor para mí haber podido trabajar codo con codo durante todos estos años con las dos personas que dirigen mi trabajo, Antonio y Mercedes. No encuentro las palabras adecuadas para transmitir mi agradecimiento por todo lo que habéis hecho por mí. Ambos habéis contribuido sobremedida en mi formación profesional y personal. Mercedes, una de mis mejores amigas, confidente, compañera... y jefa. No me faltes nunca, por favor. Antonio, mi referente en la investigación, ojalá algún día llegue a saber tanto como tú y a tener las cosas tan claras. Siempre me sorprendes. A los dos, muchas gracias por confiar en mí, por enseñarme y por dirigir mi trabajo. Espero poder seguir colaborando con vosotros siempre, porque aún me queda mucho que aprender.

También ha sido indispensable durante estos años, el resto de mi equipo, porque eso es lo que son para mí. MERAGEM es algo más que un grupo. Es un equipo, en el que cada uno se esfuerza por hacer lo que mejor sabe para el bien del conjunto. A todos sus miembros, mis compañeros de trabajo y de oficina durante muchos años, muchas gracias por aguantarme. En especial a Isabel, que fue mucho antes amiga que compañera, y lo seguirá siendo siempre; y a Cristóbal, el intrépido informático que ha conseguido dar solución a todos los problemas que le hemos ido planteando, sino fuera por él muchas cosas no hubieran salido adelante tan fácilmente. Gracias.

Otra mención especial, es para los centros de investigación donde he realizado las estancias que han contribuido a completar mi formación. Primero fue la Facultad de Veterinaria de Perugia (Italia), donde aprendí di mis primeros pasos en el mundo de la valoración genética. Muchas gracias, Camillo y Maurizio. Después al SERIDA en Gijón, donde escribí mis primeros trabajos en revistas de impacto y me sentí por primera vez capaz y suficiente para valerme por mi misma en el duro mundo de la investigación. Muchas gracias, Félix, Luis, Isabel, Iván y Lucía, pasé muy buenos momentos con todos vosotros. Siempre que los recuerdo me hacen sonreír. Más adelante al INIA, en Madrid, donde aprendí mucho sobre conservación de razas e hice buenos amigos. Gracias, Jesús, Miguel Ángel y todos los demás por vuestra acogida y buen recuerdo. Y finalmente, la Escuela Superior Agraria de Elvas (Portugal). Graça y Rute, os estaré eternamente agradecida por lo que habéis hecho por mí y por mi trabajo.

Como no, debo incluir en este apartado a mi familia. A mis padres, Rafael y Mari Carmen, que me trajeron al mundo y me apoyaron en las decisiones que fui tomando a lo largo de mi vida, confiando en que serían las correctas. Gracias por vuestro apoyo y cariño. A mi hermana, Ángela y a Pablo. A mis tíos y primos, que me apoyaron mucho y me obligaron a participar en "la vida" cuando me fui a estudiar a Córdoba. Y a mi familia de Menorca, que forma parte de la etapa más reciente de mi vida, pero que ha contribuido también en el desarrollo de esta Tesis con su cariño, apoyo y paciencia, Rafael, Margarita, Francisco, Paqui, Ignasi y todos los demás. Muchas gracias a todos.

Y para finalizar, no puedo dejar de mencionar a los coautores de los trabajos que componen esta Tesis, que pusieron su granito de arena para que esto fuera realidad aportando interés, tiempo y conocimientos. A la Asociación de Criadores y Propietarios de Caballos Trotadores, y al personal y las Juntas Directivas que han ido pasando por ahí durante estos años. Consiguieron transmitirme su pasión por esta Raza y por todo lo que la rodea. Este trabajo es para vosotros. Y a la Federación de Trote cuyo trabajo durante tantos años ha sido indispensable para mi Tesis Doctoral. Gracias por vuestra rigurosidad en la recogida de la información.





# Índice





## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN.....	11
2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	21
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1. EL SECTOR EQUINO EN ESPAÑA.....	27
3.2. EL CABALLO TROTADOR ESPAÑOL.....	30
3.3. LAS CARRERAS DE TROTE .....	33
3.4. HISTORIA DE LAS CARRERAS DE TROTE EN ESPAÑA.....	35
3.5. METODOLOGÍA CLÁSICA DE VALORACIÓN GENÉTICA DE LA DISCIPLINA DE TROTE.....	37
3.5.1. Principales Criterios de Selección.....	39
3.5.2. Factores ambientales incluidos en los modelos de valoración genética para el trote.....	41
3.6. METODOLOGÍAS AVANZADAS DE VALORACIÓN GENÉTICA APLICADAS AL TROTE.....	44
3.6.1. Modelos basados en la probabilidad condicional.....	45
3.6.2. Modelos Thurstonianos.....	46
3.6.3. Modelos de Regresión Aleatoria.....	47
3.7. PARÁMETROS GENÉTICOS DE LAS VARIABLES FUNCIONALES.....	49
4. ARTÍCULOS .....	55
ARTÍCULO 1. ANÁLISIS GENÉTICO DEL RENDIMIENTO EN CARRERAS DE LOS CABALLOS TROTADORES EN ESPAÑA.....	55
ARTÍCULO 2. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LA VELOCIDAD DE CARRERA A DIFERENTES DISTANCIAS EN CABALLOS TROTADORES ESPAÑOLES JÓVENES Y ADULTOS UTILIZANDO UN MODELO DE REGRESIÓN ALEATORIA. ....	65
ARTÍCULO 3. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LAS GANANCIAS ANUALES A DIFERENTES DISTANCIAS DE CARRERA EN CABALLOS TROTADORES JÓVENES Y ADULTOS UTILIZANDO MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA.....	77
ARTÍCULO 4. EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RENDIMIENTO EN CARRERAS EN CABALLOS TROTADORES UTILIZANDO MODELOS DE COMPETENCIA.....	87

5. DISCUSIÓN GENERAL.....	115
5.1. LA POBLACIÓN DE CABALLOS TROTADORES EN ESPAÑA. ....	115
5.2. VALORACIÓN GENÉTICA SISTEMÁTICA DE LA APTITUD FUNCIONAL PARA EL TROTE.....	117
5.3. EVALUACIÓN DE NUEVAS METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN GENÉTICA ...	127
5.4. RECOMENDACIONES E IMPLICACIONES PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN GENÉTICA Y LA MEJORA DE LA RAZA.....	135
6. CONCLUSIONES.....	143
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	149
8. LISTADO DE PUBLICACIONES .....	161
8.1. PUBLICACIONES CIENTÍFICAS CON ÍNDICE DE IMPACTO .....	161
8.2. OTRAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS (REVISTAS CON REFEREEES).....	162
8.3. PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIFUSIÓN.....	162
8.4. LIBROS, CAPÍTULOS DE LIBROS Y PROCEEDING DE CONGRESOS.....	162
8.5. COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES .....	162
8.6. COMUNICACIONES A CONGRESOS NACIONALES.....	164
8.7. INFORMES TÉCNICOS AL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO.....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del censo de Caballo Trotador Español por Comunidades Autónomas .....	31
Tabla 2. Heredabilidad para la variable “tiempo de carrera” en caballos trotadores .....	50
Tabla 3. Heredabilidad para la variable “ganancias de carrera” en caballos trotadores.....	51
Tabla 4. Heredabilidad para la variable “posición clasificatoria de carrera” en caballos trotadores.....	51
Tabla 5. Principales ancestros registrados en el Libro Genealógico oficial para la población de Caballos Trotadores en España.....	121
Tabla 6. Principales fundadores registrados en el Libro Genealógico oficial para la población de Caballos Trotadores en España. ....	122
Tabla 7. Correlaciones de <i>Pearson</i> entre los valores genéticos de los animales estimados para cada variable en estudio. ....	124
Tabla 8. Porcentaje de coincidencia entre las distintas variables analizadas entre los animales incluidos en el percentil 20% superior (sobre la diagonal) e inferior (bajo la diagonal) en el ranking genético. ....	125
Tabla 9. Análisis del porcentaje de coincidencia de los animales según su ranking genético (20% superior e inferior) aplicando una metodología BLUP y de Regresión Aleatoria para las variables tiempo por kilómetro y ganancias anuales, en función del grupo de edad y la distancia de carrera. ....	134
Tabla 10. Análisis del porcentaje de coincidencia de los animales según su ranking genético (10% superior) para las variables tiempo por kilómetro y ganancias anuales, en función del grupo de edad (grupo 1 sobre la diagonal y grupo 2 bajo la diagonal) y la distancia de carrera aplicando una metodología de Regresión Aleatoria. ....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del número de équidos registrados en España desde 1960. ....	28
Figura 2. Distribución del censo de animales de Raza Pura, a 31 de diciembre de 2009, agrupado por Comunidades Autónomas.....	28
Figura 3. Distribución del tipo de explotaciones en función de su clasificación zootécnica a nivel nacional. ....	29
Figura 4. Número de animales y ganaderías para cada una de las razas equinas reconocidas a nivel nacional.....	29
Figura 5. Distribución del tipo de explotaciones en función de su clasificación zootécnica en Baleares.....	32
Figura 6. Evolución del número de animales registrados en el Libro Genealógico oficial del Caballo Trotador Español en función de su año de nacimiento.....	32
Figura 7. Distribución geográfica de los hipódromos y las pistas de trote en las Islas Baleares.....	36

## LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

ASTROT: Asociación de Criadores y Propietarios de Caballos Trotadores

BLUP: Best Linear Unbiased Predictor

CGS: contribución a la similitud genética

CTE: Caballo Trotador Español

EAAP: European Association of Animal Production

GS: similitud genética

IGG: Índice Genético Global

MARM: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

RRM: Modelo de Regresión Aleatoria

UELN: Universal Equine Life Number



# Resumen





## 1. RESUMEN

En esta Tesis Doctoral se hace un estudio de la estructura poblacional del *Caballo Trotador Español* (CTE), los procedimientos de evaluación genética desarrollados en su Programa de Mejora oficial y se ponen a punto otras metodologías de valoración genética que proporcionan información más completa en la que basar la selección de los futuros reproductores.

Desde su reconocimiento como Raza, la población del CTE se ha sometido a una selección fenotípica de los reproductores, basada en el rendimiento funcional de los animales en las carreras celebradas en diferentes países.

La rápida mejora se ha conseguido principalmente mediante la importación de semen y de reproductores procedentes de otros países, cuyos descendientes se han registrado al nacimiento en el Libro Genealógico del CTE, y mediante la mejora del medio (alimentación, manejo, calidad de las pistas...). La utilización masiva de material genético de alta calidad procedente de otras poblaciones de caballos trotadores en el mundo, principalmente el *Caballo Trotador Francés y Americano*, ha favorecido el progreso genético de esta población, contribuyendo a mantener la variabilidad genética y evitando la consanguinidad. Además, esta importación ha permitido una importante conexión genética entre las distintas poblaciones de caballos de trote a nivel mundial, que puede favorecer la realización de una evaluación genética internacional para la aptitud funcional del trote, en la que el CTE podría ser considerado como una población conectora.

En esta Tesis Doctoral se analizan los procedimientos de evaluación genética de rutina que se están llevando a cabo sobre el CTE mediante la aplicación de una metodología BLUP modelo animal multivariable con repetibilidad y se comparan con las metodologías desarrolladas en otros países. Actualmente, el CTE se selecciona en base a cuatro variables que, tomadas en conjunto, evidencian la capacidad de rendimiento funcional de un animal en la pista. Estas variables son: las *ganancias anuales* (con transformación logarítmica), el *porcentaje de primeros puestos anuales* (con transformación raíz cuadrada), el *tiempo por kilómetro* y el *mejor tiempo por hipódromo y modo de salida*. Para el análisis de las *ganancias anuales* y el *porcentaje de primeros puestos anuales*, el modelo ha incluido el sexo, el año de nacimiento y el año de carrera como efectos fijos; y el número de participaciones como covariable. El modelo para la variable *tiempo por kilómetro* ha incluido el sexo, la edad-experiencia de carrera, el año-estación-hipódromo y el tipo de salida como efectos fijos; y la distancia como covariable. Y para el *mejor tiempo por hipódromo y modo de salida*, el sexo, la edad-experiencia de carrera, el año-estación-hipódromo, el tipo de salida y la clase de distancia se han incluido como efectos fijos.

Para la realización de los trabajos de esta tesis hemos contado con una base de datos facilitada por la *Federación Nacional de Trote*, con más de 16 años de información, y un número total de 293.308 registros de participación. El fichero de genealogía se ha generado en base a la información recopilada en el Libro Genealógico del CTE, incluyendo todos los ancestros conocidos de los animales con registros de participación (asegurando incluir al

menos cuatro generaciones para los caballos extranjeros en función de la información recopilada en bases de datos internacionales) contando finalmente con un total de 10.940 animales.

Utilizando modelos mixtos con metodología REML (modelo Animal con repetibilidad) se han obtenido unas heredabilidades que han oscilado entre  $0,14 \pm 0,017$  para el *porcentaje de primeros puestos* y  $0,29 \pm 0,018$  para el *mejor tiempo anual por hipódromo y modo de salida*. El resto de variables han presentado una heredabilidad intermedia,  $0,27 \pm 0,018$  para la variable *ganancias anuales* y  $0,28 \pm 0,017$  para el *tiempo por kilómetro*. Todos estos valores se han encontrado dentro del rango establecido por otros autores para este tipo de variables en otras poblaciones de caballos trotadores. Las correlaciones genéticas entre estas variables han presentado una magnitud media-alta, oscilando entre  $0,61 \pm 0,044$  y  $0,99 \pm 0,005$ .

Con el objetivo de desarrollar una metodología que nos permite corregir algunos problemas importantes de los procedimientos de evaluación genética aplicados a los équidos, se ha testado la aplicación de una metodología Thurstoniana, que permite incluir en el modelo la información referente al nivel de competencia existente en una carrera. Para este análisis que sigue una metodología bayesiana, se ha analizado la variable *clasificación en la carrera*, incluyéndose en el modelo el sexo (2 niveles), la edad (3 niveles) y la carrera (3920 niveles) como efectos fijos; y la combinación entrenador-conductor, el efecto ambiental permanente y los efectos genéticos como aleatorios. La heredabilidad obtenida ha sido del 9,0%. Este valor se encuentra dentro del rango marcado por la bibliografía consultada para este tipo de variables en équidos y mejora su estima respecto al empleo de BLUP modelo animal clásico con estos mismos factores (heredabilidad del 5,0%). Estos resultados muestran una mejora en la estimación de los valores genéticos de los animales al permitir corregir el efecto del nivel genético de la carrera (estimado por el nivel genético del resto de participantes con que se compete en cada carrera). En este sentido, nuestros resultados muestran que el cambio detectado en la heredabilidad ha repercutido también en la clasificación genética de los animales según su valor de cría, existiendo diferencias en la ordenación de los ranking genéticos. Así el porcentaje de coincidencia estimado para los animales incluidos en el percentil 20% superior e inferior y los animales élite (5% superior) según el ranking genéticos para la variable *clasificación en la carrera* según se haya empleado un modelo BLUP o un modelo Thurstoniano fue respectivamente del 90,8%, 92,8% y 89,4.

Finalmente, se ha testado la aplicación de una metodología de RRM bivalente para la estimación de los componentes de (co)varianza a lo largo de la trayectoria de los grupos de edad y distancias de carrera, en base a las variables *tiempo por kilómetro* y *ganancias anuales* sobre esta población. Esta metodología asume el rendimiento del animal como una función continua del tiempo (y o de la distancia) y considera que el medio ambiente en el que se desarrolla el animal (alimentación, clima, manejo...) y sus contemporáneos cambia a lo largo de su vida (o que la expresión del genotipo varía según la distancia de la carrera). Desde el punto de vista biológico, este modelo asume que existen diferentes genes que se activan o desactivan a las distintas edades del animal produciendo diferentes cambios fisiológicos y de rendimiento.

Para el análisis del *tiempo por kilómetro*, se han considerado como efectos fijos: la combinación hipódromo-fecha de carrera (404 niveles), el sexo (3 niveles), el tipo de salida (2 niveles) y una regresión fija de los polinomios de Legendre (orden 2). Mientras que se han considerado como efectos aleatorios en el modelo: la regresión aleatoria del polinomio de Legendre (orden 1) para los animales (9201 animales en el fichero de pedigree), el efecto ambiental permanente individual (3154 animales con datos) y el conductor (957 niveles).

La heredabilidad estimada en función de la distancia de carrera para el *tiempo por kilómetro* ha oscilado entre 0,12 y 0,34, presentando una trayectoria diferente para los dos grupos de edad analizados. Las correlaciones genéticas entre las distancias adyacentes dentro de cada grupo de edad han sido elevadas (>0,90) y han disminuido a medida que se incrementaba la diferencia entre las distancias comparadas. Las correlaciones genéticas para la misma distancia entre ambos grupos de edad han oscilado entre 0,47 y 0,78. En consecuencia, el *tiempo por kilómetro* puede ser considerado como una variable diferente a lo largo de la trayectoria de distancias y edades, pero correlacionado positivamente desde el punto de vista genético.

En el caso de las *ganancias anuales*, se han considerado como efectos fijos: la combinación hipódromo-año de carrera (101 niveles), el sexo (2 niveles), el tipo de salida (2 niveles), la experiencia en carrera (9 niveles), el efecto del número de carreras recogidas para cada animal (3 niveles) y una regresión fija de los polinomios de Legendre (orden 2), mientras que se han considerado como efectos aleatorios: el polinomio de Legendre (orden 1) para los animales (10089 animales en el fichero de pedigree) y el efecto ambiental permanente individual (4715 animales con datos). El número de carreras en las que ha participado un animal en el año ha sido incluido como covariable en el modelo.

La heredabilidad estimada para las *ganancias anuales* en función de la distancia de carrera ha oscilado entre 0,08 y 0,10 para los caballos jóvenes y entre 0,10 y 0,14 para los animales adultos, presentando la misma trayectoria para ambos grupos de edad. Las correlaciones genéticas entre las distintas distancias dentro de cada grupo de edad han oscilado entre 0,69 y 0,99, siendo más elevadas (>0,90) entre las distancias adyacentes. Las correlaciones genéticas para la misma distancia entre ambos grupos de edad han oscilado entre 0,30 y 0,59. Por ello, también en este caso se puede afirmar que los resultados de la variable *ganancias anuales* en caballos jóvenes y adultos no representan exactamente las mismas variables.

Estos cambios en los parámetros genéticos detectados para ambas variables han determinado también cambios en el ranking de los animales por su valor de cría para las diferentes edades y distancias de carrera. Por lo tanto, el uso de RRM está muy recomendado en esta Raza como una herramienta muy útil para la selección genética de los animales, porque permite estimar el valor de cría a lo largo de todas las etapas de su trayectoria en las competiciones deportivas. Esto permite a los criadores diferenciar los animales velocistas (mejores a distancias cortas) de los de resistencia (mejores a distancias largas), y los precoces (mejores a edades tempranas) de los longevos (mejores a edades tardías), lo cual va a repercutir positivamente en el progreso genético de esta raza.



## SUMMARY

In this PhD work, we analyze the population structure of *Spanish Trotter Horses* (STH) and the procedures for genetic evaluation developed within the official breeding programme; in addition, other methodologies for genetic evaluation are presented in order to present horse breeders with more complete information when selecting future reproducers.

Since its admission as an official breed, the population of STH has undergone phenotypic selection of its reproducers, based on the functional performance of the animals in the races held in the different countries.

The rapid improvements achieved are mainly due to importing semen and reproducers from other countries, whose descendants have been registered in the STH stud-book at birth, and by the improvement of the environmental conditions (nutrition, management, quality of the tracks, and so on). The massive use of high-quality genetic material originating from the other populations of trotter horses all around the world, mainly *French* and *American Trotters*, has stimulated genetic progress in this population, contributing to the maintenance of genetic variability and avoiding inbreeding. Besides, there are important genetic and genealogical connections between the different trotter populations in the world, which makes it possible to make an international genetic evaluation for trotter performance, in which the STH could be considered as a connective population.

In this PhD study, the procedures used systematically for the genetic evaluation in the STH using multivariate BLUP animal model methodology with repeatability are analyzed and compared with those methodologies used abroad. Nowadays, the STH is selected on the basis of four traits that, when combined, show the animals' capability for functional performance on the track. These traits are: *annual earnings* (log transformation), *percentage of first placings in a year* (square root transformation), *time per kilometre* and *best racing time by hippodrome and type of start*. For the analysis of *annual earnings* and *percentage of first placings in a year*, the model has included sex, year of birth and year of race as fixed effects; and the number of starts as a covariate. The model for the *time per kilometre* has included sex, age-racing experience, year-season-hippodrome and type of start as fixed effects; and distance as a covariate. Finally, for *best racing time by hippodrome and type of start*, sex, age-racing experience, year-season-hippodrome, type of start and distance class have been included as fixed effects.

The performance database has been supplied by the *Federación Nacional de Trote* with information gathered over 16 years, comprising a total of 293,308 racing records. The pedigree file has been generated based on the information in the official STH stud-book, including all known ancestors of the animals with racing records (ensuring the inclusion of at least four generations for foreign animals using foreign databases) with a total of 10,940 animals.

Using mixed models with REML methodology (animal model with repeatability), the estimates of heritability have ranged between  $0.14 \pm 0.017$  for *percentage of first placings in a year* and  $0.29 \pm 0.018$  for *best racing time by hippodrome and type of start*. The other traits

have shown a medium level heritability, at  $0.27 \pm 0.018$  for *annual earnings* and  $0.29 \pm 0.018$  for *time per kilometer*. All these values are within the range of those reported by the reviewed bibliography for these kinds of traits in other populations of trotter horses. The genetic correlations have shown medium-high values, ranging between  $0.61 \pm 0.044$  and  $0.99 \pm 0.005$ .

In order to develop a methodology which will allow us to solve some important problems with the procedures used for the genetic evaluation of horses, we have tested the application of a Thurstonian model. This allows the inclusion of competitive race information in the model. The trait *ranking in the race* has been analyzed, and this model has included: sex (2 levels), age (3 levels) and race (3920 levels) as fixed effects; and the combination trainer-driver, the permanent environmental effect and the genetic effects as random effects. A heritability of 9.0% has been obtained, a value which is within the range of those reported by the reviewed bibliography for these kind of traits in horses and improves on the estimations in comparison with the BLUP animal model methodology (5.0% heritability). The changes in the heritability level have also affected the order of the animals' genetic ranking by their breeding value. Thus, the percentages of coincidence estimated for the animals included in the 20% upper and lower percentile and in the elite horses (upper 5%) for the *ranking in the race* using a BLUP methodology or a Thurstonian model were 90.8%, 92.8% and 89.4%, respectively.

Finally, the application of a bivariate RRM methodology has been tested for the estimation of the (co)variance components in the trajectory of the age-groups and race distances, based on the traits *time per kilometer* and *annual earnings* in this population. This methodology assumes the performance of the animal as a continuous trait over time (and/or over distance), and it considers that the environment in which the animal and their contemporaries are tended (nutrition, weather, management...) changes during their lives (or the expression of the genotype varies by the race distance). From a biological point of view, this model assumes that different genes are activated or disabled at different ages of the animal thus producing changes in the animal's physiology and performance.

In the analysis of *time per kilometer*, the combination of hippodrome-date of race (404 levels), sex (3 levels), type of start (2 levels) and a fixed regression of the Legendre polynomials (order 2) have been considered as fixed effects. In addition the random regression of the Legendre polynomials (order 1) for the animals (9201 animals in the pedigree file), the individual permanent environmental effect (3154 animals with racing records) and the driver (957 levels) have been included as random effects in the model.

For the *annual earnings*, the combination hippodrome-year of race (101 levels), sex (2 levels), type of start (2 levels), the racing experience (9 levels), the effect of the number of races recorded for each animal (3 levels) and the fixed regression of the Legendre polynomials (order 2) have been included as fixed effects. In addition the random regression of the Legendre polynomials (order 1) for the animals (10,089 animals in the pedigree file) and the individual permanent environmental effect (4715 animals with racing records) have been included as random effects in the model. The number of races for each animal has been included as a covariate.

The estimated heritability by race distance for the *time per kilometer* ranged between 0.12 and 0.34, showing a different trajectory for each age group. The genetic correlations between the adjacent distances within each age group were high (>0.90) and decreased when the differences between the compared distances were greater. The genetic correlations for the same distance between both age groups ranged between 0.47 and 0.78. Consequently, the *time per kilometer* can be considered as a different trait in the trajectory of distances and ages, but positively correlated from a genetic point of view.

The estimated heritability for *annual earnings* by race distance ranged between 0.08 and 0.10 for young horses and between 0.10 and 0.14 for adult horses, with the same trajectory for both age groups. The genetic correlations between the different distances within the same age group ranged between 0.69 and 0.99, taking the higher values (>0.90) between the adjacent distances. The genetic correlations for the same distance between the different age groups ranged between 0.30 and 0.59. Therefore, we can affirm that the results for the *annual earnings* trait in young and adult horses are not exactly the same trait.

The changes in the genetic parameters shown for both traits have also shown changes in the genetic ranking of the animals by their breeding value for the different ages and race distances. Therefore, the use of an RRM is recommended in this breed as a very useful tool for the genetic selection of the animals, because it allows us to estimate the breeding values in all stages of their trajectory in racing competitions. This allows the breeders to differentiate fast animals (best in short races) from resistant ones (best in long races), and precocious horses (best at early ages) from long-lived ones (best at adult ages), which has a positive influence on the selection process and on the genetic improvement of this breed.



# Introducción y Objetivos





## 2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los caballos de trote son la segunda población equina más conocida a nivel mundial, después del Puro Sangre Inglés (Thiruvankadan *et al.*, 2009). Así mismo, las competiciones de trote son uno de los deportes ecuestres más importantes en el mundo (Gómez *et al.*, 2010), destacando en países como Canadá, Islandia, Noruega, Suecia, Finlandia, Rusia, EEUU, Francia, Países Bajos, Bélgica, Alemania, Italia y algunos países del centro de Europa. Actualmente están alcanzando mucho auge en Reino Unido y España (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

Estas competiciones se caracterizan por ser un tipo de carrera enganchada en las que un caballo transporta a un conductor en un carro ligero de dos ruedas (sulky), mientras se desplaza al trote (aire de dos tiempos en bípedos diagonales) sin llegar a galopar (Burns *et al.*, 2004). También existen carreras de trote montado, en las que el conductor se sube sobre el animal, aunque son minoritarias (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

En nuestro país, las carreras de trote se localizan principalmente en las Islas Baleares, donde las primeras competiciones documentadas se remontan al segundo decenio del siglo XX (la dictadura de Primo de Rivera), utilizando carretas y caminos. El interés por este deporte se fue generalizando, tras la aprobación del código de carreras de caballos de trote en 1929 y la celebración del primer Gran Premio Nacional con caballos de tres años, enteros, nacidos y criados en España, en 1935 (Martí, 1995). Desde entonces se han venido realizando carreras de forma regular, celebrándose actualmente más de 1500 carreras anuales en los 11 hipódromos existentes en España, que cuentan con la participación de más de 4500 animales diferentes al año (Gómez *et al.*, 2010). Esto representa el 15,76% de las competiciones hípcas celebradas en España, únicamente superada por las disciplinas de Salto de Obstáculos (29,73%) y Doma Clásica (16,90%) (TRAGSEGA, 2003).

Aunque las poblaciones especializadas en carreras de trote tienen entidad legal de raza en la mayoría de los países donde existe este tipo de competiciones (así se habla del trotador Francés, Finlandés, Americano, Español...) sus libros genealógicos suelen estar abiertos a la inscripción de animales de otras razas de caballos Trotadores. En este sentido, existe un gran nivel de interconectividad genética entre todas las poblaciones de trotadores a nivel mundial dado la gran importancia del comercio de sementales vivos y semen congelado entre países, lo que a su vez permite un mayor acceso al material genético de alta calidad, siendo una parte importante en la economía de la industria equina de muchos países (Burns *et al.*, 2004).

El Caballo Trotador Español (CTE) es una raza de creciente importancia en España y Europa, gracias a las actividades de promoción desarrolladas por la Asociación de Criadores y Propietarios de Caballos Trotadores (ASTROT) y al soporte económico del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) (Gómez *et al.*, 2010). Actualmente, se encuentra reconocido como una *Raza Equina Integrada*, según el

Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España (Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas), y es la cuarta raza en importancia en función del número de efectivos registrados en nuestro país (tras el Pura Raza Español, el Pura Raza Árabe y el Pura Sangre Inglés).

Su Programa de Mejora fue aprobado oficialmente mediante una Resolución de la Dirección General de Ganadería, con fecha 1 de septiembre de 2005, e incluye como principal objetivo de selección la mejora del rendimiento deportivo en las competiciones de trote celebradas a nivel nacional e internacional. Para ello, se establecen una serie de categorías genéticas, que los animales irán consiguiendo en función de sus resultados y los de sus colaterales en las valoraciones genéticas realizadas a partir de los datos obtenidos en las pruebas oficiales de control de rendimientos.

Al igual que ocurre con otras poblaciones de caballos trotadores (Arnason, 2001; Ricard, 2005<sup>a</sup>), el CTE no puede considerarse una raza pura en sentido estricto (Lujosa, 2001), ya que la práctica reproductiva más frecuente es la inseminación artificial utilizando principalmente semen de caballos trotadores franceses y americanos (Gómez *et al.*, 2010). En este sentido, en España se emplean grandes cantidades de dinero para la importación de material genético de alta calidad; por ello, cada vez es más necesario la obtención de información adecuada para el asesoramiento en el diseño de los apareamientos en el marco del programa de mejora de esta raza (Gómez *et al.*, 2010).

La evaluación del rendimiento de los caballos trotadores tradicionalmente se ha basado en una combinación de diferentes variables que, estudiadas como un conjunto, representan la habilidad de los caballos para rendir en la disciplina de trote (Thiruvankadan *et al.*, 2009). En las carreras de trote, todas ellas se relacionan con el tiempo, la posición clasificatoria y/o las ganancias (Langlois, 1984<sup>a</sup>). En España, al igual que en el resto de países, los caballos trotadores son evaluados rutinariamente utilizando uno o varios de estos criterios mediante un BLUP modelo animal multivariado con repetibilidad. No obstante, a lo largo de su vida, un animal puede participar en diferentes tipos de carreras en función de la distancia a recorrer (cortas, medias y largas) y el tipo de salida (autostart -todos los animales toman la salida en movimiento a la misma velocidad- o handicap -todos los animales toman la salida parados y colocados a diferentes distancias en función de sus resultados previos-). Ambos parámetros condicionarán el rendimiento funcional de un animal en las pruebas, y existen evidencias en otras especies y aptitudes de que el potencial genético de los animales está condicionado por el tipo de carrera en la que participa (Bugislaus *et al.*, 2006; Menendez-Buxadera and Mota, 2008; Posta *et al.*, 2009) y que este puede variar a lo largo de la vida de un animal por lo que no es adecuado incluir los registros productivos de diversas etapas de la vida de un animal como un mismo carácter (Lidauer *et al.*, 2008). Ambos hechos son un reflejo de la interacción genotipo-ambiente. Hoy día se han puesto a disposición de los investigadores metodologías estadístico-genéticas que permiten abordar este problema, destacando dentro de las mismas las técnicas de *Random Regression* (de Jong, 1995; Meyer, 2004), dentro de las que destacan en el caso del bovino de leche, la conocida como *Test Day* que permite un análisis directo de los datos recogidos en los controles mensuales en lugar de la medida

resumen lactacional (Ptak and Schaeffer, 1993) y el poder tratar las distintas lactaciones de cada animal como caracteres diferentes (Reents *et al.*, 1995), estando considerado ya hoy día como la metodología de rutina en las valoraciones genéticas internacionales del vacuno de leche (Interbull<sup>1</sup>).

Dado que, para optimizar el progreso genético que se obtenga mediante la selección artificial, se necesita disponer de información genética más precisa y fiable sobre las condiciones en las que los animales van a competir; es necesario tener en cuenta, no sólo que en la práctica compiten a diferentes edades y distancias, sino que el potencial genético de los animales va a depender de la edad y la distancia en la que vayan a competir. Por ello, el objetivo de esta tesis doctoral es el desarrollo y verificación del potencial de la aplicación de nuevas metodologías de valoración genética sobre la población de caballos trotadores en España, concretamente, los modelos de regresión aleatoria.

Como **objetivos específicos** se persigue:

- La estimación de los parámetros genéticos de las variables funcionales al trote mediante la aplicación de metodologías REML tradicionales.
- Análisis de la influencia de la distancia y la edad sobre el rendimiento deportivo de los caballos trotadores en España.
- La puesta a punto de modelos de regresión aleatoria para la estimación de los parámetros genéticos de las variables funcionales al trote que tengan en cuenta la participación en carreras de diferente longitud.
- La puesta a punto de modelos de regresión aleatoria para la estimación de los parámetros genéticos de las variables funcionales al trote que tengan en cuenta la participación con diferentes edades.
- Estudio comparativo de la eficiencia de la selección mediante la metodología de regresión aleatoria frente a las metodologías tradicionales (BLUP) sobre esta población.

---

<sup>1</sup> <http://www.interbull.org/>



# Revisión Bibliográfica





### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. EL SECTOR EQUINO EN ESPAÑA

La ganadería equina es una de las más antiguas de España. Los caballos han formado parte importante en su historia, tanto en guerras como en labores agrícolas y construcción de las ciudades.

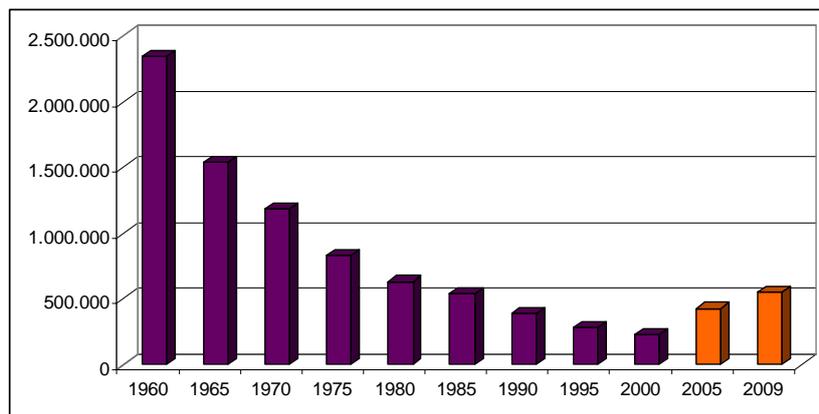
Debido a su importancia en las labores de defensa, las competencias en materia de cría equina han estado vinculadas tradicionalmente al *Ministerio de Defensa* a través del *Fondo de Explotación de los Servicios de Cría Caballar y Remonta* (FESCCR); hasta que, tras la publicación del Real Decreto 1133/2002, de 31 de Octubre, el antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (hoy denominado *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*, MARM) asumió estas funciones, desarrollando medidas orientadas a la ordenación y fomento del sector equino dentro de un plan estratégico (TRAGSEGA, 2003).

Este Plan de Ordenación y Fomento del sector equino español tiene tres objetivos principales: la integración plena de los équidos en las políticas ganaderas, la expansión de este sector dentro de la política agraria común y la ampliación del mercado potencial de la oferta equina tradicional en España.

Para ello, se han estructurado cuatro líneas de actuación diferentes. La primera de ellas orientada a la ordenación zootécnica y sanitaria del sector equino, que ha ampliado su legislación regulando los distintos ámbitos. La segunda busca el fomento y desarrollo de este sector mediante incentivos. La tercera está orientada a la conservación y mejora genética mediante la regulación y promoción del desarrollo de programas de conservación y mejora para las distintas razas. Y por último una línea que pretende el fomento de las actividades complementarias relacionadas con el sector, promocionando y favoreciendo, entre otros, el desarrollo de actividades complementarias (*hipoterapia*, producción de carne de caballo...), la formación del personal (operarios, jinetes, ganaderos...) y el seguimiento estadístico del sector.

El número de équidos registrados en España desde el año 1960 ha tenido una evolución muy similar al resto de países de nuestro entorno económico (FAOSTAT, 2010). La mecanización del campo y los medios de transporte a mediados del siglo XX provocaron una disminución acuciante en el número de cabezas de ganado equino, que no ha comenzado a recuperarse hasta principios del siglo XXI (Figura 1). Así mismo, provocaron la transformación de nuestras razas hacia aptitudes zootécnicas mas acordes con los tiempos actuales (pe. actividades deportivas, ocio, concursos, producción de carne...).

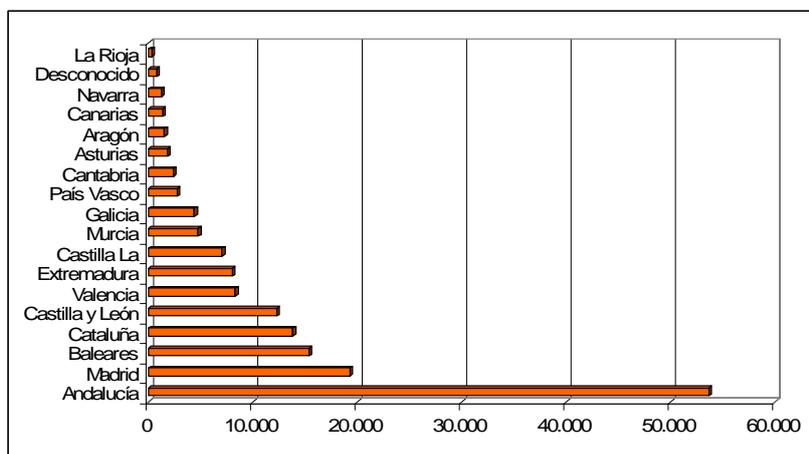
Figura 1. Evolución del número de équidos registrados en España desde 1960.



Fuentes: TRAGSEGA (2003) y MARM (2010)

En España, existió una segunda crisis importante, que retrasó aún más la recuperación de este sector. Ésta se produjo en el año 1989 con la epidemia de la peste equina africana que afectó principalmente al sur de la Península Ibérica, paralizando las actividades comerciales y deportivas por condicionar el movimiento y el condicionamiento sanitario de los animales. La distribución de este censo no es homogénea por toda la geografía española. En la Figura 2 se muestra la distribución de los ejemplares de Raza Pura en las distintas Comunidades Autónomas. Así, Andalucía presenta el mayor censo registrado (33,57% del total nacional), seguida de Madrid (12,10%) y las Islas Baleares (9,64%).

Figura 2. Distribución del censo de animales de Raza Pura, a 31 de diciembre de 2009, agrupado por Comunidades Autónomas.



Fuente: MARM (2010)

Estos animales se encuentran distribuidos a nivel nacional en explotaciones cuya principal clasificación zootécnica es el uso particular de los équidos (45,6% a finales de 2008, Figura 3).

Figura 3. Distribución del tipo de explotaciones en función de su clasificación zootécnica a nivel nacional.

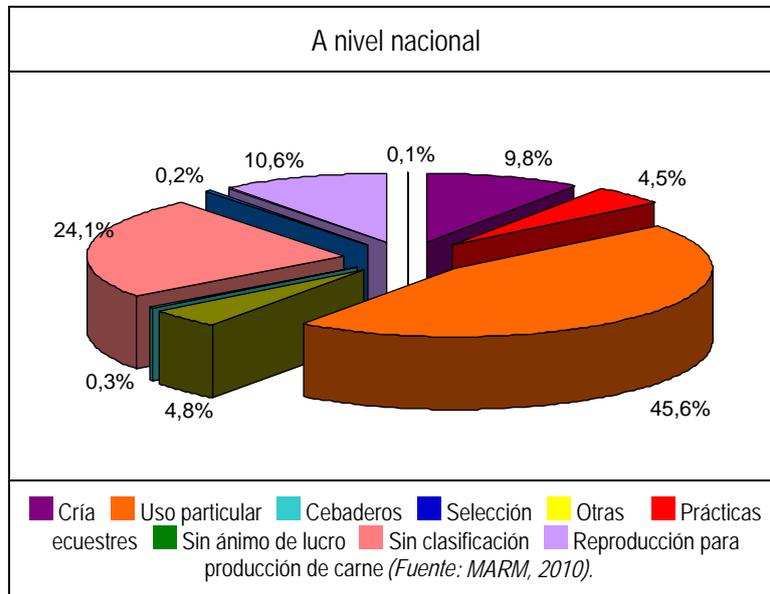
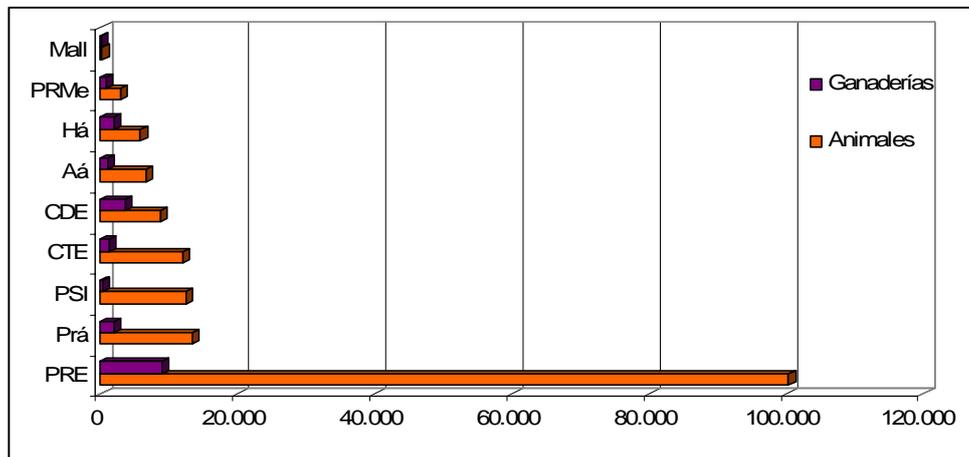


Figura 4. Número de animales y ganaderías para cada una de las razas equinas reconocidas a nivel nacional.



Fuente: MARM (2010)

En la Figura 4 se presenta el censo actual de animales y ganaderías registradas para cada una de las razas equinas reconocidas a nivel nacional. Como se observa, la raza mayoritaria en España es el caballo de *Pura Raza Español*, que representa un 61,65% del censo nacional de Razas Puras (única raza equina española incluida en la categoría de fomento según el *Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España* (Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas)), seguida del *Pura Raza Árabe*, con el 8,23%, y del *Pura Sangre Inglés*, que representa el 7,63% del censo nacional de Razas Puras.

### 3.2. EL CABALLO TROTADOR ESPAÑOL

El *Caballo Trotador Español* (CTE) se encuentra reconocido, en la actualidad, como una Raza Equina Integrada, según el *Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España* (Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas).

Su Asociación de Criadores, ASTROT, fue creada el 13 de abril de 1970 con un ámbito de actuación a nivel autonómico. Su objetivo principal es fomentar la cría de animales y la práctica del deporte de carreras de caballos trotadores en España. El 19 de agosto de 2002 fue reconocida como una Asociación de ámbito nacional, y se ha integrado dentro de la *Confederación Española de Organizaciones de Criadores de caballos con Libro de Registro oficial de la Raza* (CECCA).

En España, el CTE es la cuarta raza en importancia censal (Figura 4), ya que a finales del año 2009 contaba con un total de 12075 animales (43,77% hembras y 56,23% machos) registrados en su Libro Genealógico oficial (Tabla 1), lo que representa el 7,41% del censo equino nacional de équidos de Razas Puras.

Su zona de localización geográfica mayoritaria son las Islas Baleares, donde se encuentra el núcleo de desarrollo de su actividad deportiva principal -las carreras de trote- y la mayor concentración de hipódromos. Esta Comunidad Autónoma aloja el 98,53% del censo total registrado en el Libro Genealógico oficial para esta Raza, en un total de 1231 ganaderías (91,93% del total para esta Raza), con un tamaño medio de 9,67 animales (Tabla 1). En Baleares, la mayoría de las explotaciones registradas no tienen una orientación definida (55,9%), predominando las destinadas al uso particular (33,3%) (Figura 5).

El censo restante de CTE se encuentra repartido por las distintas Comunidades Autónomas españolas, en concentraciones no reseñables, como se presenta en la Tabla 1.

La teoría más aceptada sobre el origen de esta raza afirma que los caballos trotadores surgieron cuando el ejército francés necesitó criar unos caballos capaces de transportar de la manera más rápida posible las piezas de artillería y a los oficiales de caballería, en los primeros decenios del siglo XIX (Bujosa, 2001). Para ello se buscaron caballos más equilibrados, más resistentes y más rápidos que el *Pura Sangre Inglés* (Bujosa, 2001).

Tabla 1. Distribución del censo de Caballo Trotador Español por Comunidades Autónomas.

C. Autónoma	M	H	T	%Raza	Ganad	Tam
Baleares	5.219	6.679	11.898	98,53	1.231	9,67
Galicia	24	37	61	0,51	39	1,56
Canarias	10	17	27	0,22	14	1,93
Cataluña	8	13	21	0,17	14	1,50
Andalucía	11	7	18	0,15	9	2,00
Valencia	5	10	15	0,12	8	1,88
Aragón	1	8	9	0,07	4	2,25
Cantabria	1	6	7	0,06	3	2,33
Murcia	4	1	5	0,04	4	1,25
Castilla y León	0	4	4	0,03	3	1,33
Castilla La Mancha	1	2	3	0,02	3	1,00
Asturias		3	3	0,02	3	1,00
Madrid		2	2	0,02	2	1,00
Extremadura	0	1	1	0,01	1	1,00
País Vasco	1		1	0,01	1	1,00
<b>TOTAL</b>	<b>5.285</b>	<b>6.790</b>	<b>12.075</b>	<b>100</b>	<b>1.339</b>	<b>2,05</b>

Donde: M es macho, H es hembra, T es total, % Raza es el porcentaje de animales de la Raza localizada en cada Comunidad Autónoma, Ganad es ganadería y Tam es tamaño medio de la ganadería. Fuente: MARM (2010).

Inicialmente, los dos núcleos principales de cría de caballos trotadores fueron Francia (ligadas a la Administración pública por las necesidades de transporte) y América (por la existencia de un caballo, Hambletonian, con una gran calidad y capacidad que logró atraer un gran número de aficionados a las carreras de trote), aunque posteriormente comenzaron su expansión por todo el mundo (Bujosa, 2001).

En relación con el origen del CTE, se postula que proviene del cruce de yeguas trotonas con caballos de *Pura Sangre Inglés* de origen daneses, holandeses y españoles (TRAGSEGA, 2003). Esta hipótesis de un origen externo se corrobora en el trabajo publicado por Azor *et al.* (2007), que confirma que los antecedentes genéticos de la población actual de CTE no están basados en la población nativa de caballos de las Islas Baleares.

Desde el reconocimiento de la Raza y el inicio de la gestión del Libro Genealógico por parte del FESCCR a finales de los años setenta, la evolución del número de animales registrados ha presentado una tendencia ligeramente ascendente hasta nuestros días, como se observa en la Figura 6.

Figura 5. Distribución del tipo de explotaciones en función de su clasificación zootécnica en Baleares.

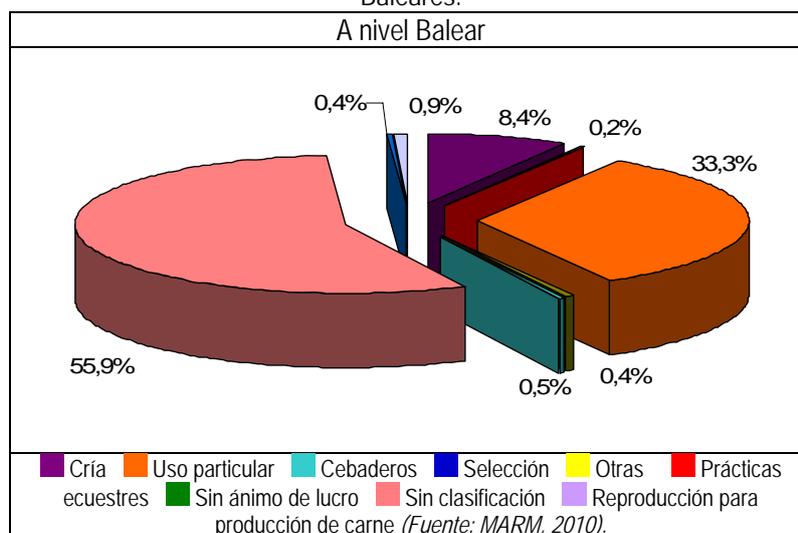
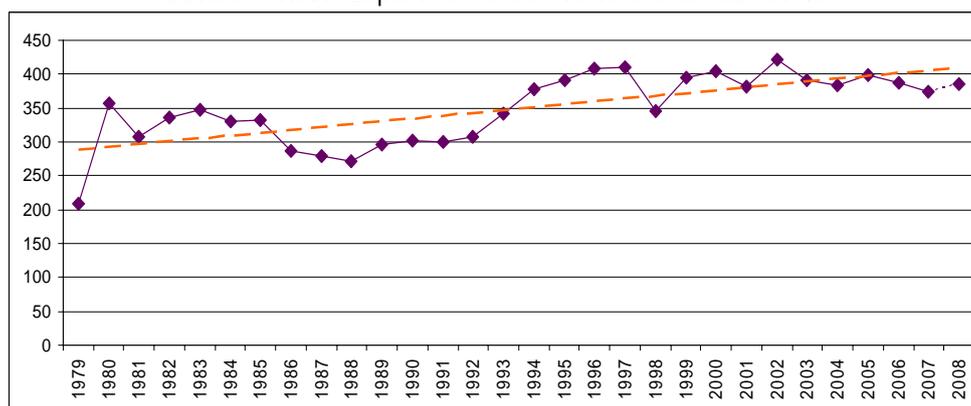


Figura 6. Evolución del número de animales registrados en el Libro Genealógico oficial del Caballo Trotador Español en función de su año de nacimiento.



Como curiosidad, cabe mencionar que, desde el año 1935, se instauró para el CTE la norma francesa por la que el nombre de todos los caballos que nacen durante el mismo año ha de comenzar por la misma letra del abecedario, siendo los nacidos en 1935 los animales de la "A" en nuestro país (Bujosa, 2001).

Aunque actualmente aún no existe un prototipo racial oficialmente aprobado para el CTE, en general, los animales de esta Raza se consideran de tamaño mediano, con alzas que pueden oscilar entre 1,50 - 1,70 m, con ojos grandes y vivarachos, destacando su grupa por ser algo oblicua y sus pies con tendencia a ser zambos. Estos dos últimos caracteres

se consideran como “cualidades” en el CTE, a pesar de ser considerados como defectos en otras razas equinas.

Desde enero del año 2008, por delegación directa del MARM, la gestión del Libro Genealógico oficial del CTE se encuentra en manos de la ASTROT. Esta Asociación de Criadores es también la encargada del control y desarrollo del Programa de Mejora específico para esta Raza en España, en colaboración con el personal del grupo de investigación *MERAGEM*.

### 3.3. LAS CARRERAS DE TROTE

Hoy en día, las carreras de trote son eventos deportivos de gran importancia en países como Alemania, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Islandia, Italia, Noruega, Países Bajos, Rusia, Suecia, Reino Unido y España (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

Son un tipo de competición deportiva en la que los caballos deben correr empleando un aire específico, el trote (Thiruvankadan *et al.*, 2009). El trote es un aire simétrico de dos tiempos en el cual los bípedos diagonales se mueven a la vez, de manera que cuando un bípedo inicia la flexión, el otro inicia la extensión (Agüera and Sandoval, 1999).



Imagen 1. Trote montado (ASTROT)



Imagen 2. Trote enganchado (ASTROT)

Aunque existen carreras de “trote montado”, en las que el conductor del animal se desplaza por la pista colocado sobre el dorso de este, las más frecuentes suelen ser las denominadas de “trote enganchado”. En este tipo de carreras, el conductor permanece detrás del animal montado sobre un carro muy ligero de dos ruedas, conocido con el nombre de “sulky” (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

Así mismo, se pueden establecer diferencias en las carreras en función del tipo de salida empleado. Existen carreras con salida de “handicap”, en las que los animales inician la competición partiendo a una distancia prefijada respecto al primer ejemplar en salir. Esta distancia está condicionada en función de su rendimiento deportivo previo en las carreras

en las que haya participado (a mejor rendimiento en las carreras previas, mayor será la penalización en la distancia de salida respecto al primer ejemplar). En las carreras con salida de "autostart", los ejemplares inician la competición a una velocidad constante que es marcada por un vehículo provisto de unos brazos mecánicos que precede al grupo de competidores manteniendo la velocidad constante hasta el punto de salida.

En España, la *Federación Nacional de Trote*, que comparte sede y funciones con la *Federación Balear de Trote* (delegación en las Islas Baleares) es la encargada de regular, organizar, supervisar y promover las carreras de trote. Estas funciones son de gran importancia para el mantenimiento y el desarrollo del CTE en nuestro país, ya que son su razón de existir y de mantenerse en el medio. La *Federación Balear de Trote* se encarga también de la emisión de las licencias deportivas y del registro oficial de los resultados obtenidos por los animales participantes en cada una de las carreras celebradas (TRAGSEGA, 2003).



Imagen 3. Modo de salida autostart (MERAGEM)



Imagen 4. Modo de salida handicap (MERAGEM)

Las razas de mayor importancia a nivel internacional para las carreras de trote son el *Caballo Trotador Americano* (conocido con el nombre internacional de *Standardbred*), el *Trotador Francés*, el *Trotador Sueco*, el *Trotador de Orlov*, el *Trotador Ruso*, el *Trotador Finlandés* (conocido con el nombre internacional de *Finnhorse*), el *Trotador Islandés*, el *Dole horse* (de Noruega) y los *caballos de sangre fría* del norte de Suecia (Thiruvnkadan *et al.*, 2009). Así, podemos afirmar que el caballo trotador no es una raza reconocida a nivel internacional, como ocurre con el *Pura Sangre Inglés*, sino que existen razas especializadas para la carreras de trote en los diferentes países (Thiruvnkadan *et al.*, 2009).

No obstante, es destacable el importante nivel de conexión genética existente entre las distintas poblaciones de caballos trotadores del mundo, ya que la mayor parte de las razas importan semen y reproductores de otras poblaciones, por lo que algunos autores han definido al caballo trotador como una población *compuesta* (Arnason, 2001; Ricard, 2005<sup>b</sup>).

### 3.4. HISTORIA DE LAS CARRERAS DE TROTE EN ESPAÑA

Las primeras carreras de trote que tuvieron lugar en las Islas Baleares comenzaron a realizarse en carreteras y caminos rurales en la época de la dictadura de Primo de Rivera, en el segundo decenio del siglo XX (Martí, 1995). Se trataba de unas carreras ocasionales en las que no existían unas reglas establecidas a priori. Normalmente, tenían lugar durante el trayecto del viaje entre dos poblaciones o al volver de misa los domingos y del campo los días de trabajo. Aunque su único objetivo era competir, como hoy en día, poco a poco fueron proliferando las apuestas y atrayendo a más público (Bujosa, 2001).



*Imagen 5. Fotografías antiguas de carreras (Página web del Hipódromo de Ciutadella de Menorca)*

A principios del siglo XX, se crearon las primeras pistas circulares en diversos pueblos o fincas particulares para acoger estas competiciones. Así, en el año 1903, se construyó la primera pista de carreras de trote en Mallorca, en Son Macià (en el término de Marratxí), donde el 12 de agosto se celebraron las cinco primeras carreras, cuatro de trote enganchado y una galope montado (Bujosa, 2001). Las mejoras realizadas sobre esta pista en el año 1907 nos permitirían hablar ya de un hipódromo. Sin embargo, su mala localización y la dificultad de sus comunicaciones con los núcleos poblados impidió su desarrollo y arraigo entre los aficionados a este deporte en las Islas Baleares (Bujosa, 2001).

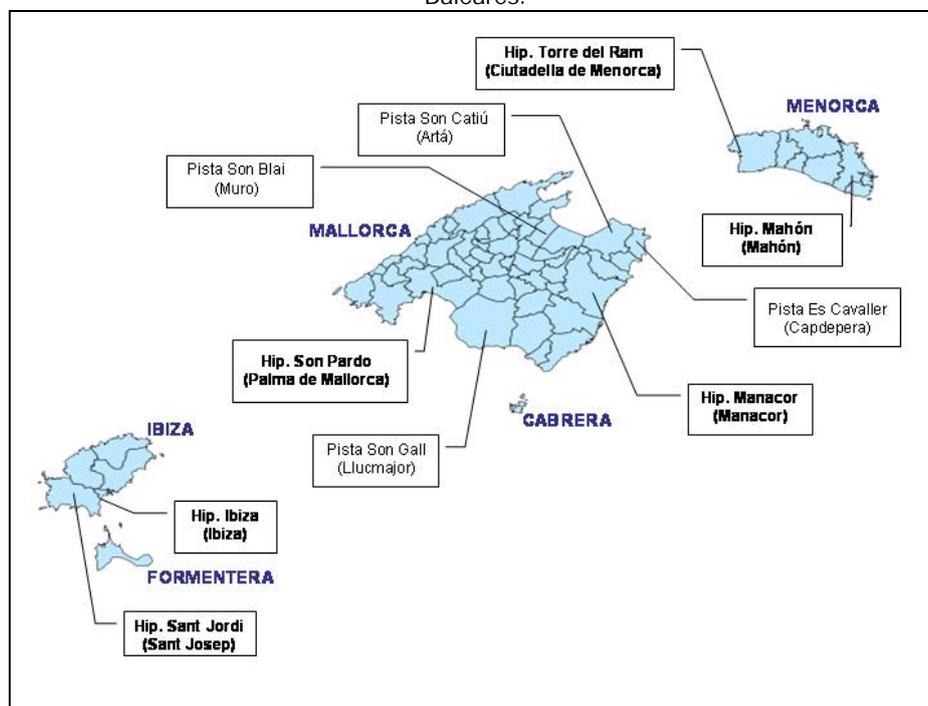
Por ello, el primer hipódromo en consolidarse en las Islas Baleares fue el de Bons Aires, construido en Mallorca en el año 1917, que permaneció en activo hasta el año 1957, con una longitud total de pista de 700 m. Este hipódromo fue promovido por la *Real Sociedad Hípica de Mallorca*, aunque su finalidad principal no eran las carreras de trote. En 1958 se inauguró el hipódromo de Ca madò Aina, y finalmente se construyó en el año 1965 el hipódromo de Son Pardo, con una longitud total de pista de 1000 m (Bujosa, 2001).

Aunque la actividad hípica de los hipódromos en las Islas Baleares no cesa en todo el año, la competición de trote más importante a nivel nacional es el Gran Premio Nacional, en el

que solo pueden participar cada año ejemplares (machos y hembras) de tres años de edad, criados y nacidos en España, ya que su objetivo principal es conocer el nivel de rendimiento de la cría del país. La primera edición tuvo lugar en el año 1935 (en 1934, debido al escaso número de participantes apuntados a la convocatoria, se permitió la participación de animales de otras edades) (Bujosa, 2001).

Actualmente, las carreras de Trote en España se desarrollan en hipódromos y pistas especialmente habilitadas para ello (Figura 7), que acostumbran a tener el suelo de arena (raramente de hierba). En las Islas Baleares, existen un total de seis hipódromos (dos en Mallorca -Son Pardo y Manacor-, dos en Menorca -Mahón y Torre del Ram- y dos en Ibiza -Ibiza y Sant Jordi-) y cuatro pistas de trote (Son Gall en Lluçmajor, Son Blai en Muro, Son Catiú en Artá y Es Cavaller en Capdepera, todas ellas en la Isla de Mallorca).

Figura 7. Distribución geográfica de los hipódromos y las pistas de trote en las Islas Baleares.



En las Islas Baleares, las carreras de trote han adquirido una mayor importancia que las de velocidad, porque permiten la participación de un mayor número de conductores, que no se ven excesivamente afectados por los condicionamientos de peso y edad; y porque el caballo de trote se integra fácilmente en la vida familiar de sus propietarios, al ser un animal de temperamento más tranquilo que puede ser manejado por cualquier miembro de la

familia (Bujosa, 2001). Además, es una actividad deportiva que viene contando con el apoyo de las instituciones locales y regionales desde sus inicios (Martí, 1995).

### 3.5. METODOLOGÍA CLÁSICA DE VALORACIÓN GENÉTICA DE LA DISCIPLINA DE TROTE

Desde que se inició, el trote de competición ha progresado principalmente en base a tres factores: la selección más o menos empírica de los animales de la raza, la mejora de los instrumentos que faciliten el trabajo del caballo, y la alimentación y sistemas de entrenamiento aplicados (Bujosa, 2001).

La mejora de los instrumentos, la alimentación y el entrenamiento se ha ido importando de manera continua de otros países, por lo que la evolución ha sido bastante paralela. Así mismo, las condiciones de las pistas se han visto mejoradas considerablemente en nuestros hipódromos (Bujosa, 2001), existiendo además importantes diferencias entre ellos (pe. longitud, tipo y estado de la pista entre los hipódromos de mayor tamaño, como Son Pardo, y las pistas de carreras reconocidas, como Son Blai).



Imagen 6. Desarrollo de una carrera de trote oficial (ASTROT)

Del mismo modo, durante un amplio período de tiempo se realizó una selección intensiva de la Raza en base a criterios puramente fenotípicos, como en el resto de razas de caballos trotadores del mundo (Thiruvankadan *et al.*, 2009). Hasta que en 2005 se aprobó el Programa de Mejora para el CTE<sup>2</sup>, mediante una Resolución de Dirección General de Ganadería del 1 de septiembre de 2005.

---

<sup>2</sup> La versión completa de este documento se puede consultar directamente en la página web del MARM: <http://www.mapa.es/app/Zootecnia/SeleccionEsquemas.aspx?lng=es>.

Este Programa incluye, como principal objetivo de selección, la mejora del rendimiento deportivo de los animales en las competiciones celebradas a nivel nacional e internacional. Para ello, se establecen una serie de categorías genéticas, que los individuos de la Raza irán consiguiendo en función de sus resultados y los de sus colaterales, en las valoraciones genéticas realizadas a partir de los datos obtenidos en las pruebas de control de rendimientos oficiales.

Al igual que en el resto de países de nuestro entorno económico (Arnason, 1999; Burns *et al.*, 2004; Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a</sup>; Langlois and Vrijenhoek, 2004; Langlois and Blouin, 2006), las valoraciones genéticas del rendimiento funcional de los caballos trotadores en España se están realizando actualmente mediante la aplicación de una metodología BLUP (*Best linear unbiased prediction*) utilizando un modelo animal de manera rutinaria (Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999), ya que se ha demostrado su eficacia en condiciones de valoración de los animales en competición (Árnason, 1997).

La primera raza de trotadores en ser evaluada mediante la aplicación de esta metodología fue el caballo *Trotador Islandés*, que publicó oficialmente los valores de cría estimados utilizando procedimientos BLUP en 1986 (Sigurdsson *et al.*, 1996). Desde entonces, la aplicación de esta metodología se ha considerado adecuada para la selección de los équidos a nivel mundial. Entre sus ventajas, podemos destacar:

- 1) Permite la selección temprana de machos y hembras (Tavernier, 1989<sup>a</sup>).
- 2) Puede utilizar información de diferentes fuentes para la estimación de los valores de cría.
- 3) Tiene en cuenta el cruzamiento selectivo y la selección.
- 4) Tiene en cuenta todos los registros de participación para todos los animales emparentados con un animal y los efectos ambientales (Thiruvankadan *et al.*, 2009).
- 5) Calcula simultáneamente los valores de cría y la influencia de los efectos ambientales sobre el rendimiento, corrigiendo las estimaciones (Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999).

A pesar de contar con una metodología genético-estadística adecuada, la elección de un buen criterio de selección es uno de los mayores problemas encontrados en la evaluación genética de los caballos en relación a la mejora del resto de especies. Esto se debe a que, aunque la carrera deportiva de un caballo está compuesta de una serie de clasificaciones obtenidas en carreras o competiciones, no siempre se dispone de una medida física del rendimiento (Tavernier, 1991), ya que según la carrera se registran una serie de variables que varían en función de la edad y las condiciones físicas de los animales (Ricard *et al.*, 2000).

Clásicamente, se han utilizado como criterios de selección del rendimiento funcional: el tiempo (cronometraje), las ganancias (dinero conseguido en premios) y la posición clasificatoria (Langlois, 1984<sup>a</sup>), recogidos en los propios registros de participación del

animal en las carreras, que se encuentran genéticamente muy correlacionadas entre sí (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

Elegir un criterio de selección único tiene un riesgo considerable de omitir otros rasgos potencialmente vitales para el rendimiento del animal y de contribuir al incremento de la consanguinidad (Ricard, 1997; Langlois and Vrijenhoek, 2004). Los estudios realizados demuestran que el uso de valoraciones genéticas multicarácter reducen considerablemente este sesgo (Arnason *et al.*, 1982, 1989), por lo que se recomienda su utilización (Langlois and Vrijenhoek, 2004), además de favorecer el progreso genético cuando se desarrolla en etapas secuenciales que combinan informaciones de competiciones y pruebas específicas para los reproductores (Ricard *et al.*, 2000).

### 3.5.1. Principales Criterios de Selección

Los principales criterios de selección aplicados en la selección funcional de los caballos trotadores son tiempo de carrera, ganancias y posición clasificatoria.

#### 3.5.1.1. Tiempo de carrera

El tiempo de carrera es una medida simple que se recoge de manera rutinaria para todos los caballos participantes en una competición de trote (Ricard *et al.*, 2000). Aunque su inclusión como criterio de valoración genética no siempre es necesario, está recomendado porque responde a las demandas de los criadores (Langlois, 1989<sup>a, b</sup>), al evidenciar la capacidad de un animal para trotar rápido (Thiruvankadan *et al.*, 2009). Además, Röhe *et al.* (2001) afirman que es la variable más importante para la selección del rendimiento deportivo por presentar heredabilidades altas y una correlación genética elevada con las ganancias.

Existen variaciones de esta variable de tiempo, como es el tiempo de carrera por kilómetro que resume los resultados en función del tiempo empleado en recorrer una distancia dada (Ricard *et al.*, 2000). Según Bugislaus *et al.* (2005<sup>a, b</sup>) es la variable más importante para la selección, porque presenta la mayor heredabilidad de todas las variables analizadas por ellos. Es una variable bien definida (Ricard, 1998), que presenta una heredabilidad bastante homogénea entre países (Ricard *et al.*, 2000) y es frecuentemente utilizada por los propietarios como indicador de la velocidad del animal en carrera (Ekiz and Kocak, 2005). Sin embargo, esta variable evidencia sólo una cualidad de un buen caballo de carreras, su velocidad, olvidando otros caracteres importantes para ganar, como son su capacidad para adaptarse a las condiciones de la carrera y para llegar el primero (Ricard *et al.*, 2000).

El mejor tiempo de carrera anual (expresado en segundos por kilómetro) también es utilizado como criterio de selección, ya que ayuda a caracterizar el potencial de velocidad de un animal cuando se dan las condiciones ambientales favorables, por lo que es la suma

de los efectos genéticos y ambientales (Arnason, 2001). Sin embargo, esta variable no tiene en cuenta otros aspectos como la regularidad o la longevidad deportiva de los animales Langlois (1989<sup>a, b</sup>). Indica también el nivel relativo de un animal con respecto al resto de individuos que compiten en la carrera (Thiruvankadan *et al.*, 2009), pero con una clara influencia del tipo de salida, por lo que se recomienda corregir esta variable en función del tipo de salida (Ojala *et al.*, 1987).

### 3.5.1.2. Ganancias.

Al final de cada carrera de trote, se reparte un premio económico a los animales participantes que han obtenido una posición clasificatoria entre los cuatro o cinco primeros puestos, en función de su clasificación final. La cantidad total de dinero repartida en una carrera depende de la dificultad técnica o del nivel de los competidores en la misma (Tavernier, 1991). Normalmente la distribución del importe es exponencial, de manera que si el primer animal recibe una cantidad  $X$ , el segundo recibe  $(0,5) X$ , el tercero  $(0,5)^2 X$ , el tercero  $(0,5)^3 X$ , y así sucesivamente (Langlois, 1983)

La elección de una variable relacionada con las ganancias para el control del rendimiento funcional es considerada una medida lógica del rendimiento en caballos trotadores (Katona, 1979; Langlois, 1983, 1984<sup>a</sup>, 1989<sup>a, b</sup>; Saastamoinen and Nylander, 1996), ya que revela diferentes aspectos de la aptitud del animal, su heredabilidad es moderada y suficiente para facilitar la selección, y sus correlaciones con el tiempo son negativas y elevadas, por lo que son favorables (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

Entre los problemas que presenta la utilización de este criterio para la valoración genética del trote, podemos citar que la variable no presenta una distribución normal, por lo que es necesaria una transformación matemática para conseguir normalizarla. Además, algunos caballos no tienen registros de ganancias a pesar de haber participado en las carreras, por lo que existe un sesgo en la información utilizada al suponer que los caballos con ganancias son una representación de todos los caballos nacidos (Ricard *et al.*, 2000).

Las diferencias principales entre las variables de ganancias que se pueden incluir en la valoración genética se deben a las transformaciones matemáticas para conseguir una distribución normal, y a la elección de una variable acumulada (por año o por vida) o una variable repetida por carrera, incluyendo el método para tener en cuenta el número de participaciones (Ricard *et al.*, 2000).

El logaritmo de las ganancias puede ser una buena escala para medir el rendimiento de un caballo y esta medida está siendo extensamente utilizada (Langlois, 1980, 1989<sup>b</sup>; Meinardus and Burns, 1987; Tavernier, 1988, 1989<sup>b</sup>; Arnason *et al.*, 1989; Klemetsdal, 1989; Minkema, 1989).

A la hora de seleccionar una variable, es importante tener en cuenta que el dinero se reparte en todas las carreras, pero la calidad de un animal debe medirse en su carrera deportiva completa. Si se mide el rendimiento en carreras independientes se tiene en

cuenta el máximo nivel del caballo, pero no su capacidad para repetir este máximo. Si se mide como variable acumulada es una combinación de la regularidad, la longevidad y el nivel de las carreras ganadas por el caballo. A pesar de ello, las correlaciones entre ambos tipos de medidas son muy altas (Thirukenkadan *et al.*, 2009).

Aunque tiene algunas desventajas (Ricard, 1997), las ganancias anuales son una medida lógica del rendimiento que refleja el nivel de un caballo en relación con el resto de caballos participantes (Thirukenkadan *et al.*, 2009) y es considerada útil y de confianza por los criadores para estimar el nivel de rendimiento (Langlois and Blouin, 2004).

### 3.5.1.3. Posición clasificatoria.

La clasificación final de un animal en una carrera refleja su potencial (Röhe *et al.*, 2001), su temperamento, su espíritu deportivo y su predisposición para ganar (Thirukenkadan *et al.*, 2009). Por eso, ha sido utilizada por numerosos autores como criterio de selección funcional (Árnason *et al.*, 1982, Katona, 1985, Ojala *et al.*, 1987). Además, permite una clara comparación de los resultados entre países porque se mide de igual forma en los distintos países (Bokor *et al.*, 2005).

Los modelos de valoración genética basados en las posiciones clasificatorias permiten tener en cuenta a aquellos animales que no se han colocado en los primeros puestos en ninguna carrera (Ricard *et al.*, 2000; Röhe *et al.*, 2001). De esta manera, el valor de un caballo "no colocado" se ajusta para cada evento por el valor relativo de los caballos que han participado en esa carrera concreta (Ricard *et al.*, 2000), pudiendo determinarse el nivel del evento (Tavernier, 1991).

Existen también muchas formas de incorporar la posición clasificatoria a las valoraciones genéticas, por ejemplo en función del porcentaje de primeros puestos conseguidos durante el año. Esta variable indica en qué porcentaje de carreras, del total de las que ha participado el animal, ha conseguido la primera posición. Permite valorar indirectamente el temperamento del animal en relación con su deseo de ganar las competiciones y su espíritu deportivo (Thirukenkadan *et al.*, 2009).

Además, el porcentaje de puestos colocados (entre la primera y la cuarta posición de llegada) durante el año, permite determinar el nivel relativo de cada animal en relación con los restantes competidores destacados en las distintas carreras.

### 3.5.2. Factores ambientales incluidos en los modelos de valoración genética para el trote.

A la hora de diseñar los modelos de valoración genética, además de seleccionar correctamente la variable o variables que se van a incluir, es importante tener en cuenta

todos los factores externos que pueden condicionar en rendimiento final de un animal en la carrera (Ojala *et al.*, 1987).

En la mayoría de los procedimientos de valoración genética del rendimiento funcional para las carreras de trote realizados en Europa, se utilizan variables anuales para la estimación de los valores de cría (Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a</sup>). Con este tipo de información, no se pueden considerar simultáneamente en el modelo estadístico toda la información ambiental disponible, por ejemplo, el conductor, el modo de salida, el hipódromo... (Röhe *et al.*, 2001), por ser efectos que varían para cada carrera.

Para considerar estos efectos de manera más fiable deben utilizarse los resultados individuales de cada carrera. Es decir, las condiciones ambientales concretas de cada registro de participación pueden ser corregidas directamente en el modelo estadístico completo, no siendo necesario un ajuste previo de los datos para esos efectos (Röhe *et al.*, 2001; Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a, b</sup>; Langlois and Blouin, 2008).



Imagen 7. Desarrollo de una carrera de trote oficial (Iqda: I. Borrás; Drcha: ASTROT)

La genética del rendimiento depende en gran medida de la longitud de la carrera o distancia, ya que diferentes factores genéticos están implicados en el rendimiento de los animales en función de si las carreras son más o menos largas (Ricard *et al.*, 2000). Oki *et al.* (1997) calcularon las correlaciones genéticas entre el rendimiento a diferentes distancias de carrera y obtuvieron que cuanto mayor era la diferencia entre las distancias de las carreras comparadas, menor eran las correlaciones genéticas entre los rendimientos. Por ello, las distancias han sido normalmente incluidas en los modelos de valoración genética para las variables de tiempo, ya que en los caballos trotadores, como en los corredores humanos, el rendimiento varía en función de la distancia de carrera, existiendo caballos tipo "sprinter" y otros "de resistencia" (Gómez *et al.*, 2010).

La influencia de la edad/experiencia de carrera en la mayoría de las variables de locomoción en caballos trotadores ha sido evidenciada por Leleu *et al.* (2003), que la justificó en la adquisición y maduración de los aires. Además, la importancia de la edad se

relaciona también con la capacidad para obtener rendimientos tempranos y la relación entre el rendimiento precoz y el rendimiento adulto, que permitiría realizar una selección precoz de los animales en función de su rendimiento a edades tempranas (Burns *et al.*, 2004; Ricard *et al.*, 2000; Thiruvankadan *et al.*, 2009). La precocidad es normalmente una herramienta que favorece la rápida rentabilidad económica de los animales, y por lo tanto es una característica de gran interés para los ganaderos.

La influencia del **sexo** en las variables de tiempo, participaciones, ganancias y posición clasificatoria ha sido evidenciada en caballos trotadores por diversos autores, siendo los machos superiores a las hembras (Katona and Osterkorn, 1977; Langlois, 1984<sup>a, b</sup>; Langlois and Blouin, 2008; Leroy *et al.*, 1989; Minkema, 1975, 1989; Ojala and Hellman, 1987; Rönningen, 1975; Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999).



*Imagen 8. Detalle de utensilios utilizados en las carreras (MERAGEM)*

El año de participación y el año de nacimiento del animal influyen el rendimiento deportivo, por una mejora en los sistemas de entrenamiento y un posible cambio en la calidad de las pistas de competición (Langlois, 1984<sup>a</sup>). Además, las ganancias se encuentran fuertemente influenciadas por las fluctuaciones económicas debidas al año de carrera (Langlois, 1984<sup>a</sup>; Minkema, 1975), causadas sobre todo por la inflación y por los cambios en las políticas de reparto de premios (Langlois and Blouin, 2004). Así pues, la inclusión de estos efectos en los modelos de valoración genética, para las variables de ganancias, asegura la corrección de las estimas.

Ricard *et al.* (2000) comprobaron que diferentes factores genéticos están implicados en el rendimiento de los animales en función de los distintos tipos de pistas. El efecto de la pista se produce por un cambio en las condiciones físicas de la carrera, como son el tipo de suelo (en la hierba las carreras se desarrollan de forma más lenta que en las de arena), forma de las curvas, y la uniformidad y longitud de las rectas. Además, hay que considerar la reputación del hipódromo que puede atraer animales de una calidad más elevada (Ojala *et al.*, 1987; Thiruvankadan *et al.*, 2009).

El efecto año-estación-hipódromo se encuentra también incluido en los modelos como una medida indirecta de las condiciones de la pista de competición (Ojala *et al.*, 1987) y los factores ambientales que pueden influir sobre las variables de tiempo (Gómez *et al.*, 2010) y la calidad de los animales que participan (Thiruvankadan *et al.*, 2009).

El modo de salida (autostart o handicap) y el tipo de carrera (montada o enganchada) también condicionan el rendimiento, afectando sobre todo a los tiempos de carrera dada la correlación existente con la velocidad (Ojala *et al.*, 1987, Thiruvankadan *et al.*, 2009; Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999).

La influencia del entrenador y el conductor del caballo en el rendimiento deportivo es muy alta, siendo similar a la del jinete en otras disciplinas ecuestres (Lewczuk, 2007; Powers and Kavanagh, 2005). Los caballos domados y entrenados por profesionales tienden a presentar mejores rendimientos que aquellos domados y entrenados por sus criadores y propietarios (Thiruvankadan *et al.*, 2009), ya que tanto el sistema de entrenamiento como la estrategia en el desarrollo de la carrera condicionan el rendimiento del animal (Gómez *et al.*, 2010). La estimación del efecto del conductor en una carrera es complicada, ya que se confunde con el efecto genético. Sólo un correcto diseño de la base de datos, con un adecuado intercambio de caballos por conductores puede ayudar a disgregar correctamente ambos efectos (Röhe *et al.*, 2001). Thuneberg-Selonen *et al.* (1999) comprobaron que a medida que aumenta la experiencia del conductor (incremento en el número de participaciones registradas), se consigue un mayor éxito en las carreras.

El número de participaciones se incluye en los modelos de valoración que utilizan variables de ganancias y posición clasificatoria, porque el incremento en el número de participaciones está asociado a una disminución del tiempo de carrera del animal (Ojala *et al.*, 1987), y por lo tanto, a una mejora de la posición clasificatoria y de las ganancias. Esto es debido a que los caballos con un mayor número de participaciones tienen más oportunidades de expresar su potencial de velocidad, que aquellos con menor número. Las diferencias en el número de participaciones de los animales, a una misma edad, pueden deberse a la calidad de los caballos (los animales de menor calidad participan menos veces), a las diferencias de la capacidad deportiva de los caballos y a las diferencias en la experiencia y el entusiasmo de los propietarios y los entrenadores (Ojala *et al.*, 1987).

El efecto del mes de nacimiento también ha sido evidenciado (Saastamoinen and Ojala, 1991<sup>a</sup>; Langlois and Blouin, 1997<sup>a, b</sup>), sobre todo en edades tempranas, a las que se pueden observar diferencias importantes en el desarrollo corporal entre los animales nacidos a principio y a finales de año.

### **3.6. METODOLOGÍAS AVANZADAS DE VALORACIÓN GENÉTICA APLICADAS AL TROTE.**

El desarrollo y la aplicación de la genética molecular avanzan muy rápidamente, identificando genes o grupos de ellos, y sus acciones sobre características productivas concretas de interés para el hombre (la valoración genómica). Sin embargo, la mayor parte

del avance genético aún debe sus logros al desarrollo de herramientas estadísticas aplicadas a genética cuantitativa. Estas técnicas estadísticas, cada vez más sofisticadas, están probando su efectividad y su gran potencial a nivel práctico (Uribe, 2001). Por ello, hoy en día continúan desarrollándose nuevas metodologías aplicables a la genética cuantitativa.

### 3.6.1. Modelos basados en la probabilidad condicional

Uno de los problemas más importantes que existen en la evaluación genética de los caballos de trote es encontrar buenas medidas del rendimiento funcional con una distribución normal, apropiadas para la aplicación de los modelos lineales. Normalmente, las diferencias en las variables utilizadas son debidas a las distintas transformaciones matemáticas que son necesarias para aproximarse a la distribución normal, como ocurre con las ganancias (Ricard *et al.*, 2000; Thiruvankadan *et al.*, 2009) y a la elección de variables acumuladas (anuales o de la vida deportiva) o repetidas por participación (Ricard *et al.*, 2000).

La cantidad de dinero total que se reparte en una carrera mide indirectamente el nivel de la carrera, en función de la dificultad técnica y del nivel de los competidores (Tavernier, 1991). Y el nivel de la clasificación es una función lineal de ella, después de las correspondientes transformaciones matemáticas (Ricard *et al.*, 2000).

Sin embargo, el nivel de la carrera es solo el nivel de los competidores, porque la única razón por la que un caballo se clasifica en una determinada posición es porque el caballo colocado antes le ha vencido, y este caballo ha vencido al caballo colocado después en la clasificación. Por ello, el nivel de una clasificación no puede ser una escala lineal independiente del número de participantes, ya que esta es la única diferencia entre el rendimiento de un caballo y el rendimiento del resto de participantes.

Para explicar la clasificación final de una carrera, sin introducir ninguna subjetividad, podemos imaginar que todos los caballos de una carrera desarrollan un esfuerzo físico. Este esfuerzo podría ser diseñado por un modelo clásico con una distribución normal y un valor esperado basado en la influencia del medio ambiente y el efecto de los genes. El resultado visible de la carrera, la clasificación, es la expresión de la jerarquía entre estos esfuerzos realizados por los distintos participantes.

De esta manera, para estimar los efectos del modelo, la deducción puede estar basada en la probabilidad de obtener la clasificación de los rendimientos subyacentes en lugar de la probabilidad de obtener una medida del rendimiento.

Esta propuesta es como un modelo de probabilidades condicionadas (modelos de variables subyacentes), que se ha utilizado en las disciplinas de salto de obstáculos, doma clásica y concurso completo de equitación en Francia, y se ha testado también en caballos trotadores (Tavernier, 1994).

Es una metodología alternativa, pero con elevados requerimientos computacionales para el tratamiento de los datos de competición (debido al gran número de ecuaciones a resolver - Tavernier, 1991-) y con potencial para la aplicación práctica en la cría de caballos, debido a las importantes mejoras en la tecnología computacional (Tavernier, 1991).

### 3.6.2. Modelos Thurstonianos

Como se ha indicado anteriormente, la valoración genética equina presenta una serie de problemas que no sufren las valoraciones de otras especies. Uno de los principales viene derivado del importante grado de interrelación existente entre el caballo participante y su jinete, al formar un binomio muy difícil de separar a la hora de resolver los modelos mixtos. Otro de ellos es la fuerte influencia existente entre el nivel de la prueba (básicamente marcado por la cuantía de los premios) y el nivel genético de los animales participantes. Esto determina que no exista homogeneidad entre el nivel genético de los participantes en las diferentes pruebas deportivas (por lo tanto sería un caso de correlación genotipo-ambiente), siendo muy difícil corregir en los modelos de valoración clásica el comportamiento (clasificación, tiempos etc.) de un determinado caballo en función del nivel del resto de participantes en una prueba concreta.

Los modelos de variables latentes para la descripción de mecanismos por los cuales una escala continua se percibe en categorías ordenadas o no ordenadas de respuesta se han utilizado tradicionalmente en psicometría y en las últimas décadas en genética cuantitativa. Henery (1981) y Tavernier (1991) fueron los primeros en aplicarlos a un contexto en el que varios individuos compiten en una serie de eventos (como son las carreras de caballos) como se ha indicado en el apartado anterior.

Los modelos Bayesianos propuestos por Gianola and Simianer (2006), para el análisis cuantitativo de las variables de clasificación desde el punto de vista genético, ofrecen una alternativa eficaz a la hora de evaluar los resultados de las pruebas deportivas en las que existe una competencia real entre todos los animales participantes (una interrelación entre el comportamiento de cada individuo con el resto de participantes en la prueba). Esta nueva metodología, denominada por sus creadores como *Thurstoniana*, permite la corrección de los resultados finales obtenidos en cada carrera por el nivel de la prueba y el nivel relativo de una posición clasificatoria concreta en relación al resto de participantes, pudiendo fijar por lo tanto el efecto del nivel "competitivo" de cada carrera durante la evaluación genética..

Para ello, el modelo Thurstoniano postula una estructura latente, que asume la existencia de una variable subyacente realizada para cada genotipo o individuo que participa en una competición concreta. En el caso de la clasificación final obtenida en una competición deportiva, la variable subyacente se transforma en la clasificación de los individuos, asumiendo que la clasificación observada refleja el orden de los valores de unas variables no observables.

### 3.6.3. Modelos de Regresión Aleatoria

Existen tres tipos de modelos para tratar las medidas repetidas (Van der Werf, 2001):

- 1) Los modelos de repetibilidad aún son los más usados en mejora genética animal, al ser simples y requerir pocos recursos computacionales, pero sus resultados pueden estar sesgados si las correlaciones entre las mediciones realizadas son significativamente inferiores a 1.
- 2) Los modelos multi-carácter producen resultados más exactos que los anteriores al tener en cuenta las diferentes correlaciones existentes entre los rasgos que se evalúan, pero requieren más recursos de computación y suelen presentar problemas cuando el número de caracteres a evaluar es elevado.
- 3) Los modelos de Regresión Aleatoria, que utilizan las funciones de covarianzas propuestas por Kirkpatrick *et al.* (1990) para relacionar los diferentes valores repetidos.

Los modelos de Regresión Aleatoria (RRM) están por lo tanto orientados para el uso de datos longitudinales o de registros repetidos, donde las observaciones para una variable concreta son recogidas varias veces a lo largo de la vida del animal (Hill and Brotherstone, 1999). Kirkpatrick *et al.* (1990) propusieron el uso de las funciones de covarianza para modelar las varianzas y covarianzas de una variable longitudinal, mediante la utilización de polinomios ortogonales, siendo los más aplicados los polinomios de Legendre.

Esta metodología asume el rendimiento del animal como una función del tiempo (Ricard *et al.*, 2000) y considera que el medio en el que se desarrolla el animal (alimentación, clima, manejo...) y sus contemporáneos cambian a lo largo de su vida. Es decir, un genotipo puede manifestar diferentes fenotipos según su capacidad para adaptarse a las condiciones ambientales imperantes. Por lo que, desde el punto de vista biológico, podrían existir diferentes genes que se activen o desactiven a medida que a las distintas edades del animal se van produciendo diferentes cambios fisiológicos y de rendimiento.

La edad de un animal se puede medir en años, meses, días, horas, minutos o segundos, por lo que es posible establecer un rango continuo de puntos de tiempo en los que el animal podría ser observado para la variable en estudio (variables de dimensión infinita).

Los RRM fueron desarrollados por Henderson (1982) y Laird and Ware (1982). Schaeffer and Dekkers (1994) fueron los primeros en sugerir su uso en la valoración del vacuno lechero, mediante la metodología del Test day o "del día de control" (Nadarajah *et al.*, 1988; Reents *et al.*, 1995).

Desde entonces, su estudio y utilización en genética animal se ha incrementado considerablemente, ampliándose a otro tipo de variables, como son las de conformación, condición corporal, rendimiento en la producción de lana o calidad y producción de esperma (Schaeffer, 2004), entre otros; y en especies animales muy diferentes: ganado aviar (Anang *et al.*, 2000; Grosso *et al.*, 2009), búfalos (Breda *et al.*, 2010; Hurtado-Lugo *et al.*, 2009), caprino (Menendez-Buxadera *et al.*, 2010; Zumbach *et al.*, 2008<sup>a</sup>), ovino (Kariuki

*et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2007), peces (Rutten *et al.*, 2005), porcino (Culbertson *et al.*, 1998; Zumbach *et al.*, 2008<sup>b</sup>), vacuno de carne (Robbins *et al.*, 2005; Roso *et al.*, 2005).



Imagen 9. Desarrollo de una carrera de trote oficial (Iqda: ASTROT, Drcha: MERAGEM)

En los equinos, los primeros en aplicar esta metodología fueron Bugislaus *et al.* (2002) en caballos *Pura Sangre Inglés* alemanes.

Esta metodología de valoración genética presenta numerosas ventajas frente a las utilizadas con anterioridad:

- Hace un mejor uso de los datos existentes y se aprovecha toda la información disponible (Bilal and Khan, 2009; Swalve, 1998), sin necesidad de incrementar el número de controles, permitiendo incluso una reducción en su número (Wiggans and Goddard, 1997).
- Considera todos los efectos genéticos y ambientales directamente, teniendo en cuenta los cambios en el medio ambiente dentro del período de evaluación (Bilal and Khan, 2009; Jamrozik *et al.*, 2002; Ptak and Schaeffer, 1993; Reents *et al.*, 1995). Esto permite la medida de la plasticidad o capacidad adaptativa de un animal (interacción genotipo-ambiente) para un carácter determinado.
- Reduce el intervalo entre generaciones, al permitir una selección precoz (utilizando controles de rendimiento parciales), con lo que se evalúan los animales jóvenes en un menor tiempo (Bilal and Khan, 2009; Uribe, 2001).
- Proporciona una mayor seguridad de estimación del valor genético de un animal (Jamrozik and Schaeffer, 1997; Swalve, 1998), por utilizar toda la información disponible para cada individuo (Uribe, 2001) y por el incremento de las heredabilidades de los parámetros (Swalve, 1998), favoreciendo el progreso genético en la población (Uribe, 2001).
- No son necesarias las correcciones previas de los datos para su adecuado tratamiento. Un buen ejemplo es que evita las extensiones de los registros de lactación parciales

(Bilal and Khan, 2009; Wiggans and Goddard, 1996), por lo que se disminuye la posibilidad de una estimación errada de la producción real (Uribe, 2001).

- Puede predecir la producción total de una manera más precisa, teniendo en cuenta los efectos ambientales dependientes del tiempo (Swalve, 2000).
- Se economiza la evaluación genética y se mejora la precisión de las estimas (Bilal and Khan, 2009) al optimizar el uso de la información disponible.

Además, el uso de un enfoque dimensional infinito, en el que se asume que el fenotipo es una función continua del tiempo, que para ser descrito adecuadamente debe ser registrado un número infinito de veces (Kirpatrick *et al.*, 1990), aporta más ventajas:

- Se obtiene una curva de producción (con altura y forma) para cada animal evaluado, proporcionando un método para analizar el patrón de variación genética que puede revelar cambios potenciales en la trayectoria (Uribe, 2001).
- Permite calcular los valores genéticos en cualquier etapa del proceso evaluado, por lo que es posible obtener estimas de persistencia (Uribe, 2001).
- Predice la evolución del crecimiento total sin asumir nada a priori sobre el tipo de curva necesaria para ajustar los datos.
- Reduce los sesgos en la estimación de la variación genética, pues no requiere ajustes previos a una edad fija, ya que toma en consideración el período de tiempo entre las edades en las que se registró el dato.
- Permite proyectar la evolución de la trayectoria del crecimiento, aún cuando los datos de cada animal son registrados a diferentes edades.

No obstante, también se han detectado algunos inconvenientes a la utilización de esta metodología de valoración:

- Requiere mayores recursos de computación, ya que el número de ecuaciones a resolver se incrementa a medida que la función que explica la curva aumenta sus parámetros (Uribe, 2001).
- No permite una comparación directa con modelos tradicionales, ya que estos modelan características que pueden ser diferentes (Uribe, 2001).

### 3.7. PARÁMETROS GENÉTICOS DE LAS VARIABLES FUNCIONALES.

A continuación se presenta un resumen de las heredabilidades obtenidas por los diferentes autores, para las distintas variables funcionales utilizadas en la valoración genética del trote (relacionadas con el tiempo (Tabla 2); las ganancias (Tabla 3) y la posición clasificatoria (Tabla 4), mediante la aplicación de metodología BLUP. Todas ellas presentan heredabilidades de rango medio-bajo, en función de la bibliografía consultada.

Tabla 2. Heredabilidad para la variable "tiempo de carrera" en caballos trotadores

Autor	País	Variable	h <sup>2</sup>
1	Noruega	Mejor tiempo anual	0,24
2	Finlandia	Mejor tiempo anual	0,09
3	Finlandia	Mejor tiempo anual	0,27
4	Finlandia	Mejor tiempo anual	0,20-0,27
5	Finlandia	Mejor tiempo anual	0,29-0,49
6	Suecia	Mejor tiempo anual (logaritmo)	0,26-0,32
7	Finlandia	Tiempo total por carrera	0,23-0,28
8	Alemania	Tiempo por kilómetro	0,29
9	Francia	Mejor tiempo	0,28-0,37
10*	Alemania	Tiempo por kilómetro	0,19-0,23
11*	Alemania	Tiempo por kilómetro	0,01-0,18

\* Estimaciones realizadas mediante la aplicación de un modelo de regresión aleatoria.

Donde: 1 es Klemetsdal, 1989, 2 es Saastamoinen and Ojala, 1991<sup>b</sup>, 3 es Saastamoinen and Nylander, 1994, 4 es Saastamoinen and Nylander, 1996, 5 es Pöso and Ojala, 1997, 6 es Arnason, 1999, 7 es Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999, 8 es Röhe *et al.*, 2001, 9 es Langlois and Vrijenhoek, 2004, 10 es Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a</sup>, y 11 es Bugislaus *et al.*, 2006.

Como es de esperar, las estimaciones de los parámetros genéticos cambian en función de la medida del rendimiento funcional utilizada, el modelo empleado, y la escala y la calidad de los datos disponibles (Ricard *et al.*, 2000).

Se puede afirmar que en líneas generales, los niveles de heredabilidad obtenidos mediante la aplicación de la metodología de RRM en caballos trotadores a nivel mundial son ligeramente inferiores a las obtenidas mediante la aplicación de una metodología BLUP para las variables de tiempo de carrera, ganancias de carrera y posición clasificatoria (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4).

Tabla 3. Heredabilidad para la variable "ganancias de carrera" en caballos trotadores.

Autor	País	Criterio	h <sup>2</sup>
1	Noruega	Ganancias acumuladas (elevado a 0,2)	0,20-0,23
2	Italia	Ganancias por entrada (logaritmo)	0,10-0,19
3	Finlandia	Ganancias anuales (raíz cuarta)	0,19-0,39
4	Finlandia	Ganancias acumuladas (logaritmo)	0,21-0,32
4	Finlandia	Ganancias por entrada (logaritmo)	0,24-0,44
5	Suecia	Ganancias por carrera/número de carreras (elevado a 0,6)	0,18-0,23
5	Suecia	Ganancias anuales totales (elevado a 0,25)	0,29-0,36
6	Finlandia	Ganancias por carrera (raíz cuarta)	0,05-0,09
7	Alemania	Ganancias por participación (logaritmo)	0,09
8*	Alemania	Ganancias por participación (logaritmo)	0,09
9*	Alemania	Ganancias por carrera (logaritmo)	0,08-0,09

\* Estimaciones realizadas mediante la aplicación de un modelo de regresión aleatoria.

Donde: 1 es Klemetsdal, 1994, 2 es Silvestrelli *et al.*, 1995, 3 es Saastamoinen and Nylander, 1996, 4 es s Pöso and Ojala, 1997, 5 es Arnason, 1999, 6 es Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999, 7 es Röhe *et al.*, 2001, 8 es Bugislaus *et al.*, 2002, y 9 es Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a</sup>.

Tabla 4. Heredabilidad para la variable "posición clasificatoria de carrera" en caballos trotadores

Autor	País	Variable	h <sup>2</sup>
1	Suecia	Porcentaje de puestos colocado 1º-3º	0,18
2	Finlandia	Clasificación por carrera (raíz cuadrada)	0,25
3	Suecia	Puestos colocado 1º-3º/ número de carreras (elevado a 0,8)	0,27-0,33
4	Finlandia	Clasificación por carrera	0,12
5	Alemania	Clasificación por carrera (raíz cuadrada)	0,05
6*	Alemania	Clasificación por carrera (raíz cuadrada)	0,07
7*	Alemania	Clasificación por carrera (raíz cuadrada)	0,05-0,07

\* Estimaciones realizadas mediante la aplicación de un modelo de regresión aleatoria.

Donde: 1 es Arnason *et al.*, 1989, 2 es Pöso and Ojala, 1997, 3 es Arnason, 1999, 4 es Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999, 5 es Röhe *et al.*, 2001, 6 es Bugislaus *et al.*, 2002, y 7 es Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a</sup>.



# Artículos





## 4. ARTÍCULOS

### ARTÍCULO 1. ANÁLISIS GENÉTICO DEL RENDIMIENTO EN CARRERAS DE LOS CABALLOS TROTADORES EN ESPAÑA.

TITLE: GENETIC ANALYSIS OF RACING PERFORMANCE OF TROTTER HORSES IN SPAIN

Authors: M.D. Gómez, M. Valera, A. Molina

Publication: Livestock Science 127 (2010): 197–204

#### Resumen de los resultados

Las carreras de trote son uno de los deportes ecuestres más populares en Europa. El *Caballo Trotador Español* (CTE) puede ser considerado como una raza originada a partir de las principales poblaciones mundiales de caballos trotadores. Esto es debido a que la Raza Trotadora en España importa frecuentemente material genético de las principales Razas de caballos para el trote, principalmente *Caballos Trotadores Americanos* y *Franceses*. El Programa de Mejora del CTE incluye las variables de ganancias, clasificación y tiempos como principales criterios de selección.

El principal objetivo de este artículo es estimar los parámetros genéticos en la población de CTE y mostrar las características de la población de CTE como una población conectora para incluirla en la evaluación genética internacional del rendimiento funcional en carreras de trote. Con este propósito, hemos utilizado 285.538 registros de participación de 5086 caballos durante un período de 16 años. Todos los ancestros conocidos de los animales con registro de participación fueron incluidos en el fichero de pedigree (10.940 caballos), asegurando la inclusión de al menos cuatro generaciones para los caballos extranjeros. Se desarrolló un modelo animal multivariable utilizando cuatro medidas del rendimiento diferentes: las *ganancias anuales* (con transformación logarítmica), el *porcentaje de primeros puestos en un año* (con transformación raíz cuadrada), el *tiempo por kilómetro* y el *mejor tiempo por hipódromo y modo de salida*.

La conexión genética de los datos funcionales analizados fue adecuada. Las estimas de la heredabilidad oscilaron entre  $0,14 \pm 0,017$  para el *porcentaje de primeros puestos* y  $0,29 \pm 0,018$  para el *mejor tiempo anual por hipódromo y modo de salida*. Las otras variables tuvieron una heredabilidad de nivel medio, y fueron  $0,27 \pm 0,018$  para las *ganancias anuales* y  $0,28 \pm 0,017$  para el *tiempo por kilómetro*. Todos estos valores se encuentran dentro del rango establecido por otros autores para otras poblaciones de caballos trotadores. Los

valores de repetibilidad han oscilado entre 0,31 para el *porcentaje de primeros puestos* y 0,65 para el *tiempo por kilómetro*. Las correlaciones genéticas presentaron una magnitud media-alta, oscilando entre  $0,61 \pm 0,044$  y  $0,99 \pm 0,005$ . Existió una correlación negativa entre las variables de tiempo y el resto de variables analizadas, como se esperaba, ya que un descenso en las variables de tiempo está siempre relacionado con una mejora en los resultados de rendimiento en las carreras.

Debido a su propia composición genética, la población de caballos trotadores en España podría ser considerada como una población conectora para desarrollar una evaluación genética internacional. Por ello, estos parámetros podrían ser tenidos en cuenta para la evaluación genética internacional de los caballos trotadores.



Contents lists available at ScienceDirect

Livestock Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/livsci](http://www.elsevier.com/locate/livsci)

## Genetic analysis of racing performance of trotter horses in Spain

M.D. Gómez<sup>a,\*</sup>, M. Valera<sup>b</sup>, A. Molina<sup>a</sup><sup>a</sup> Department of Genetics, University of Córdoba, Campus de Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz, km 396a, Ed. Gregor Mendel Pl. Baja, 14071 Córdoba, Spain<sup>b</sup> Department of Agro-Forestry Sciences, EUITA, University of Sevilla, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 March 2009  
 Received in revised form 21 September 2009  
 Accepted 22 September 2009

#### Keywords:

BLUP  
 Trotting competition  
 Heritability  
 Repeatability

### ABSTRACT

Trotting racing is one of the most popular horse sports in Europe. The Spanish Trotter Horse (STH) can be considered as a composite of the main World trotter populations. This is because the Spanish Trotter Breed often imports breeding stock from the main Trotter Horse Breeds; mainly American and French Trotters. The Breeding Program of the STH includes earnings, placing and time traits as main selection criteria.

The main aim of this paper is to estimate the genetic parameters in the STH population and to show the characteristics of the STH population as a connecting population in order to include it in an international breeding evaluation for trotting ability. For this purpose, we used 285,538 racing records from 5086 horses during a 16 year period. All the known ancestors of the recorded animals were included in the pedigree file (10,940 horses), making sure that at least four generations for foreign horses were included. A multivariate Animal Model was developed using four different performance traits: *annual earnings* (log transformed), *percentage of first placing in a year* (square root transformed), *time per kilometer* and *best racing time per hippodrome and type of start*.

Genetic connectedness of performance data was adequate. The estimates of heritability ranged between  $0.14 \pm 0.017$  for the *percentage of first placing* and  $0.29 \pm 0.018$  for the *best racing time per hippodrome and type of start*. The other traits had a medium magnitude of heritability, and were  $0.27 \pm 0.018$  for the *annual earnings* and  $0.28 \pm 0.017$  for the *annual earnings* and the *time per kilometer*. All these values were within the range with those reported by authors for other trotter populations. The repeatability values had ranged between 0.31 for the *percentage of first placing* and 0.65 for the *time per kilometer*. The genetic correlations have medium-high magnitude, ranging between  $0.61 \pm 0.044$  and  $0.99 \pm 0.005$ . There was a negative correlation between time traits and the other analyzed traits, as was expected because a decrease in the time traits is always related to an improvement in the performance results in races.

Given its own genetic composition, the population of trotter horses in Spain could be considered as a connecting population in order to develop an international genetic evaluation. Therefore, these parameters could be taken into account for an international genetic evaluation of trotter horses.

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Trotting is a form of harness racing where a horse pulls a driver in a light, two-wheeled sulky; and trotters move with a

diagonal gait, the left front and the right hind legs and the right front and the left hind legs move in unison, without break into canter or gallop during a race (Burns et al., 2004).

Trotting racing is one of the most popular horse sports all around the world. Their importance in Spain is increasing because of the promotion and supporting activities developed by Ministry of the Environment and Rural and Marina Affairs and the Spanish Breeders Trotter Horse Association (AsTROT). In Spain, trotting races are mainly held in the Balearic Island,

\* Corresponding author. Department of Genetics, University of Córdoba, Campus de Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Córdoba, Spain. Tel.: +34 957 21 87 35; fax: +34 957 21 87 07.

E-mail address: [pottokamd@gmail.com](mailto:pottokamd@gmail.com) (M.D. Gómez).

and date back to the beginning of the 20th century. About 1500 horse races are held annually in 11 different hippodromes, with the participation of more than 4500 different horses.

The Spanish Trotter Horse (STH) is a breed of increasing importance in Spain. The breeding program of this breed, officially approved in 2005, includes as main breeding goal, the improvement of performance results (according to race performance) on national and international trot races. Usually, the selection criteria used to estimate the racing performance of horses are time, ranking and earning traits (Langlois, 1984), and all this data have been recorded in a database by the Spanish Trot Federation since 1990.

Artificial insemination is the most frequent reproductive practice used in the STH, with semen mainly selected from French and American Trotters. So, the STH population could be defined as a composite of other trotter populations, as occurs in other trotter breeds (Arnason, 2001; Ricard, 2005). Therefore, there are a lot of foreign reproducers in the pedigree used in the breeding evaluation, since Spain acts as a country with a horse population that often imports breeding stock from different Trotter Horse Breeds.

The trade in live stallions and frozen semen across countries allows greater access to superior breeding stock and this activity is an important part of the equine industry economy in many countries (Burns et al., 2004). This trade has contributed greatly to the increased use of certain stallions in several countries and to ensure genetic connectedness across countries. Therefore, Spanish Breeders need specific tools to help them select stallions correctly because they spend large sums of money buying stallions and/or semen. An effective breeding program is being developed through close cooperation between scientists and breeders to obtain adequate information for mating design as recommended by Arnason (1987).

Tavernier (1990) confirmed that choosing a good selection criterion is one of the major problems in the genetic evaluation of horses. Selecting on a single trait has considerable risk of neglecting other potentially vital traits (Langlois and Vrijenhoek, 2004) and a multiple trait-based genetic evaluation reduces bias considerably (Arnason, 1999). So, the use of multiple traits is advantageous for genetic evaluation (Langlois and Vrijenhoek, 2004).

Best linear unbiased prediction (BLUP) procedures for evaluating genetic merit have become widely used in the past few decades in applied animal breeding, and also in Trotter Horses (Arnason, 1999; Bugislaus et al., 2005; Langlois and Vrijenhoek, 2004; Langlois and Blouin, 2006). There are different Trotter Horse Associations which annually publish the estimated breeding values (EBVs) using this procedure in their country. But an international genetic evaluation, like that developed in the Interbull program for dairy cattle, has not been possible.

The *Interstallion Working Group* was founded in 1998 within the *Horse Commission of the European Association for Animal Production (EAAP)*. Their main objectives are to describe and discuss current breeding objectives, testing procedures and genetic evaluation methods in order to harmonize and compare EBVs across countries (Interstallion, 2008). However, it is necessary to standardize the breeding goals, in order to minimize or avoid differences in the choice

of materials and models used in the genetic evaluations and to be certain that a unique identification number for horses across countries is used (Thorén et al., 2008).

The main aims of this paper are to estimate genetic parameters in the STH population and to show the characteristics of the STH population as a connecting population in order to include it in an international breeding evaluation for trotting ability. To do this we used the racing results from a 16 year period (1991–2007), in order to give us a useful and objective tool for selecting reproducers to breeders as a prior step to an international genetic evaluation of trotter reproducers.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Description of the data

Performance data of the Spanish Trot Federation was used in the analysis. These included the times, earnings and places in the rank for each participating horse by race, instead of the main environmental data for each race, such as date, hippodrome, distance, type of start or jockey and the additional information of the horses (date of birth, sex, age...) for a total of 293,308 records.

For this analysis, mounted races were excluded because they are a minority in Spain (0.13% of the registered records). Therefore, starting methods were in all races autostart or handicap. Hippodromes with less than 1000 registered races and trainer–jockey combinations with less than 25 registered records were also excluded (2.53% of the registered records). The final performance data set consisted of 285,538 horse race performances (63.7% for males and 36.3% females) from 5086 horses (55.1% males and 44.9% females), collected between 1991 and 2007. These horses descended from 1284 sires (average progenies by sire 3.96). Most of the stallions evaluated in Spain (84.5%) had between 1 and 5 offspring participating in trotting races, and 8.1% of them had more than 10 participating offspring. Within this last group, the stallions with 50 or more participated offspring were foreign stallions (2 French and 3 American Trotters). In the same way all of the stallions with more than 2000 records available of their offspring were foreign Trotters (11 French, 9 American, and 4 from other Trotter breeds).

The evolution of the number of starts by year of race, sex and age-group are shown in Fig. 1. In age-group 1 (2–4 years-old), the number of males and females were similar. But, in general, males had a higher number of participations than females because in Spain females who were older than 4 years were mainly used as reproducers whereas males continue their sporting careers to an older age.

All the ancestors of the recorded horses were added to the pedigree file for the genetic evaluation, including at least four generations for each participating horse, giving a total of 10,940 horses.

The genealogical information was taken from the Stud-book of the STH, which belongs to *AsTROT* and has 17,165 registered horses; 6846 males and 10,319 females. The average number of equivalent complete generations was 3.55, whereas the maximum number of generation was 5.88. The genealogical information for foreign reproducers was registered until the third know generation and the information was obtained from the Studbook of origin.

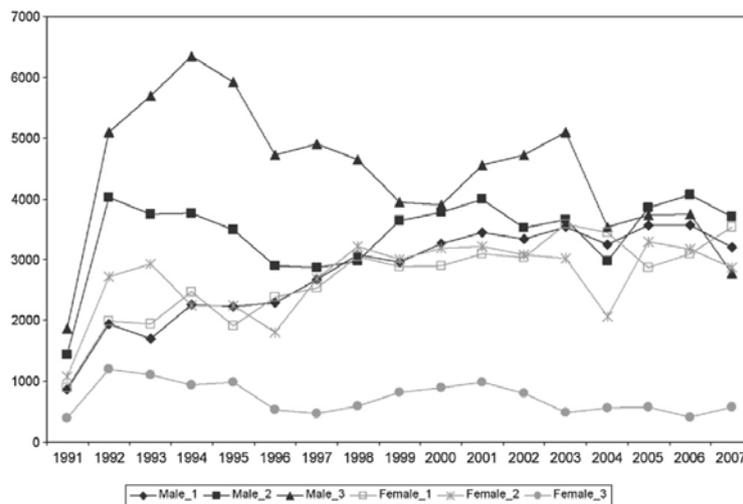


Fig. 1. Evolution of number of starts by year of race, sex and age-group for the Trotter population in Spain. Where: age 1 is 2–4 years-old, age 2 is 5–8 years-old, age 3 is  $\geq 9$  years-old.

## 2.2. Description of the traits

Four different traits were analyzed: *annual earnings (AE)*, *percentage of first placings in a year (PFP)*, *time per kilometer (TPK)* and *best racing time/hippodrome/type of start (BRTHS)*. In order to achieve a reasonable approximation to the normal distribution, the PFP was transformed by its square root and for AE the log transformation was used.

## 2.3. Estimation of genetic parameters models

The extent of genetic connectedness among races, hippodromes and countries of origin were estimated following the methodology described by Thorén et al. (2008). Genetic similarity (GS) and contribution in the genetic similarity (CGS) were calculated for animals and sires among races, hippodromes and countries of origin, respectively. The estimation of the GS by race included 35,124,720 records for sires, and 5,170,849 for animals. In the estimation by hippodrome 21 records were generated for sires and for animals. GS for animals is calculated as the proportion of recorded animals in two races or hippodromes, in relation to the total number of participating animals in these two races or hippodromes, respectively. Then, the mean value was calculated. GS for sires was calculated as the proportion of animals with performance data available in the races, hippodromes and countries of origin with progeny in two races, hippodromes and countries of origin, in relation to the total number of tested progeny in both races, hippodromes and countries of origin. Also, the mean value was calculated. The CGS was calculated as the contribution of each animal or sire to the GS, following Thorén et al. (2008), to evaluate the distribution of animals and sires among races, hippodromes and countries of origin.

The estimation of genetic parameters was performed using REML methodology following a multivariate Animal Model by BLUP, using VCE 6 software (Groeneveld et al., 2008). The estimation of the EBVs for each horse was performed using PEST package (Groeneveld, 1990) in order to obtain the reliabilities of the EBVs.

The basic model was:

$$y = Xb + Zu + Zp + e$$

Where:  $y$  = vector of observations of corresponding trait,  $b$  = vector of fixed effects,  $u$  = vector of individual additive genetic values,  $p$  = vector of common environment effects on different performances of the same horse,  $e$  = vector of residual error,  $X$  and  $Z$  are incidence matrices.

The fixed environmental effects used for each trait were designed after a previous GLM analysis. The significant effects for each trait were shown in Table 1.

A specific factor was included to evaluate the racing experience of the horses. It was the age-racing experience effect which is a combination of the age of the animal at the race and its level of racing experience as a measure of pre-training. The previous training of the horse influences the performance results obtained in the races, because of an improvement of the physical status of the animal, and an increase in racing experience. The animals were classified by their number of previous races in three levels of racing experience: A ( $\leq 50$  previous participations), B ( $> 50$  and  $\leq 100$ ) and C ( $> 100$ ).

The trainer and the jockey for each record were included in the model as a combination of both factors, because in general they were not the same person for each registered record. The adequacy of the database was tested and a

**Table 1**  
Statistical models used for the genetic analysis of the different traits in Trotter Horses in Spain.

Variable	R <sup>2</sup>	Fixed effects	Covariates	Random effects
Annual earnings (log)	0.49	Sex*** Year of birth*** Year of racing***	Number of starts***	Additive genetic effect Permanent environment Residual error
Percentage first placings in a year (square root)	0.72	Sex* Year of birth*** Year of racing***	Number of starts***	Additive genetic effect Permanent environment Residual error
Time (per kilometre)	0.89	Sex*** Age-racing experience *** Year-season-hippodrome*** Type of start***	Distance***	Trainer-jockey*** Additive genetic effect Permanent environment Residual error
Best racing time/hippodrome/type of start	0.74	Sex*** Age-racing experience *** Year-season-hippodrome*** Type of start*** Distance class***		Trainer-jockey Additive genetic effect Permanent environment Residual error

Where: age-racing experience was a combination of the age of the horse and the level of pre-training, as a measure of the number of previous starts registered for the horse in the database. Significance level was: \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

deputation of the data was made in order to ensure the quality of the estimates for this factor.

Following the recommendations of the Interstallion working group (Interstallion, 2008), the EBVs were transformed to a scale with a mean of 100 and a standard deviation of 20 before they were published.

### 3. Results

The STH have their breeding program specifically for them as well as specific characteristics. But there is a high influence between the different Trotter populations because several semen and stallions are used in the different populations to improve the genetic quality. The main genetic origins of this population are shown in Table 2, using the pedigree information of the Studbook. Most of the registered horses had a high percentage of French and American genes in their pedigree.

The evolution of the racing time is shown in Fig. 2 and there are three different parameters: (i) average racing time per kilometre by year of race using all the records available, (ii) the average of the best racing time per kilometre for each horse by year of race and (iii) the best racing time per kilometre by year of race. There was a clear tendency of decrease in the time traits shown in this figure.

#### 3.1. Genetic parameters for the traits analyzed

Genetic connectedness was evaluated by animals (animals of each breed participating in the different races evaluated)

**Table 2**  
Genetic origin of the horses registered in the official Studbook of the Spanish Trotter Horse (percentage of gene of the main trotter breeds).

Genetic origin	>0% – <25%	≥25% – <50%	≥50% – <75%	≥75% – <100%	100%
France	1593	2462	2139	3185	1871
USA	4931	1959	2324	2154	844
Sweden	6426	146	26	3	78
Italy	1986	25	5	1	31
Spain	4868	216	35	11	122

and sires (stallions of each breed with participating foals in the different races evaluated) between races, hippodromes and countries of origin using GS and CGS as described by Thorén et al. (2008).

The GS by animal had an average value of 13.9%, 21.9% and 13.3% between races, hippodromes and countries of origin respectively. The GS by sire had an average value of 17.8%, 61.8% and 12.9% between races, hippodromes and countries of origin respectively. The highest CGS by animal was from the Spanish Trotters (82% of the 100 animals with higher contribution), whereas the highest genetic contribution of sires was from American (41% of the 100 sires with higher contribution) and French Trotters (37%). There were two hippodromes with the highest CGS by animals and sires: Manacor (39.0% and 37.7%, respectively) and Son Pardo (36.6% and 35.9%, respectively), both of them on the island of Mallorca. The country of origin with the highest CGS by animal was Spain (74.3%), followed by France (10.4%). However, the country of origin with the highest CGS by sire was the USA (42.1%), followed by France (33.5%).

The genetic parameters of the analyzed traits are shown in Table 3. In this study, the lowest heritability level is shown for the ranking trait, PFP (0.14), and the highest value for the best racing time, BRTHS (0.29). The other traits demonstrated heritability with medium magnitude, which were: 0.28 for TPK and 0.27 for AE. The repeatabilities had moderate to high magnitude, ranging between 0.31 for the PFP and 0.65 for the TPK.

The phenotypic and genetic correlations have medium-high magnitude. The phenotypic correlations ranged between 0.02 (PFP-TPK) and 0.80 (BRTHS-TPK), whereas the genetic ones ranged between 0.61 (PFP-TPK) and 0.99 (BRTHS-TPK). The correlations between time traits and the other analyzed traits were always negative.

### 4. Discussion

Four different traits were analyzed in the STH in order to measure its functional performance. Instead of the disadvantages (Ricard, 1997), AE is a logical measure of performance that reflects a horse's level of performance relative to that of all horses raced (Thiruvankadan et al., 2009) and it is

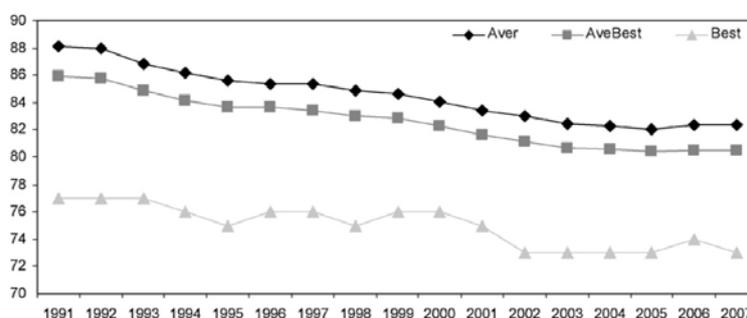


Fig. 2. Evolution of racing time per kilometre in recent decades in Trotter Horses in Spain. Where: *Aver* was the average racing time per kilometre by year of race using all the records available, *AveBest* was the average of the best racing time per kilometre for each horse by year of race and *Best* was the best racing time per kilometre by year of race.

considered useful and credible by breeders to estimate the performance level (Langlois and Blouin, 2004).

Ranking traits were included, such as PFP, because they reflect a horse's temperament, its spirit and willingness to win (Thiruvankadan et al., 2009). Besides, Bokor et al. (2005) showed that these traits have a great advantage when comparing countries because they are the same across countries.

TPK was included because it is a very important trait for selection with a high heritability level (Bugislaus et al., 2005), it is quite well-defined (Ricard, 1998) and it measures the ability of the horse to run fast (Thiruvankadan et al., 2009). Furthermore, TPK is the only direct measure of speed in each race and it is a suitable quantitative measure used to evaluate racing performance (Ekiz and Kocak, 2005).

The best racing time record reflect the speed capacity of a horse when many favorable environmental conditions are met; so, it is the sum of effects of many genetic and environmental factors (Arnason, 2001). This trait also indicates a horse's level relative to that of all horses raced (Thiruvankadan et al., 2009). But there is a clear influence of the type of start on horse performance; Ojala et al. (1987) suggested treating best annual racing time based on the two types of starts. So the last trait included in this analysis was BRTHS.

The environmental factors that influence the race performance were analyzed to define the models for the genetic evaluation (Table 1). As confirmed by Ojala et al. (1987),

numerous effects contribute to the outcome of a race. The factors that have been statistically significant were sex, year of racing, year of birth, age/racing experience, year-season-hippodrome, type of starts, trainer, jockey, and number of starts. Therefore, these have been included in the models for the estimation of genetic parameters.

The influence of sex on times, records, earnings and ranking has been reported before for trotter horses (Langlois, 1984; Minkema, 1975).

The year of racing and year of birth have influenced the performance traits, because of the improvement of training systems and the quality of the tracks (Langlois, 1984). And earnings are also heavily influenced by economic fluctuations because of year of racing (Langlois, 1984; Minkema, 1975). The inclusion of these effects on the genetic model for earnings ensures the correction of the estimations by the financial inflation.

The influence of age/racing experience on most locomotor variables has been shown by Leleu et al. (2003), and justified by the gait acquisition/maturation.

The effect of year-season-hippodrome is also included in the model as an indirect measure of track condition (Ojala et al., 1987) and weather factors that influence the time traits.

There are some types of starts that are superior to others (Ojala et al., 1987). Therefore, this effect must be included in the models with two classes (autostart or handicap).

The influence of the trainer and the jockey on the performance is very high, which is similar with the rider in

Table 3

Genetic (above the diagonal) and phenotypic (below the diagonal) correlations, heritability levels (on the diagonal) with its respective standard error and repeatabilities (last column) for the performance traits analyzed in the Trotter Horse population in Spain.

Trait <sup>a</sup>	AE	PFP	TPK	BRTHS	Rep <sup>b</sup>
AE	0.27 ± 0.018	0.62 ± 0.046	-0.85 ± 0.020	-0.87 ± 0.017	0.5446
PFP	0.35 ± 0.002	0.14 ± 0.017	-0.61 ± 0.044	-0.62 ± 0.052	0.3113
TPK	-0.58 ± 0.007	-0.02 ± 0.002	0.28 ± 0.017	0.99 ± 0.005	0.6503
BRTHS	-0.59 ± 0.007	-0.05 ± 0.002	0.80 ± 0.005	0.29 ± 0.018	0.6328

<sup>a</sup> Trait names were available in Table 1.

<sup>b</sup> Rep was repeatability.

other equestrian disciplines (Lewczuk, 2007; Powers and Kavanagh, 2005). Both the training system and the strategy for the race influence the performance of the horse.

Finally, the number of starts has been included as a covariate in the models for earning and placing traits, because an increase in the number of starts is associated with a decrease in a horse's racing time (Ojala et al., 1987) and an increase in placing and earning traits, and therefore an improvement of earning and placing. Distances have been included as a covariate in the models for time traits because trotter horses, like running humans, change their performance depending on the race distance (sprinter or resistant horses).

The heritability obtained for all the analyzed traits were within the range described in the reviewed bibliography. The PFP had the lower heritability (0.14), but within the range of values (0.11 to 0.22) reported in the literature for this trait (Ojala and van Vleck, 1981; Ojala, 1987). In the same way, the AE (0.27) was also within the range (0.09 to 0.45) given in the reviewed bibliography for the other trotter populations (Minkema, 1975; Ojala 1987; Saastamoinen and Nylander, 1996; Thuneberg-Selonen et al., 1999). Finally, the heritability of the time traits, TPK and BRTHS (0.28 and 0.29, respectively) was similar to the range found in the reviewed bibliography (0.08–0.50) (Arnason, 1999; Bugislaus et al., 2005; Ojala and van Vleck, 1981; Ojala, 1987; Ojala et al., 1987; Saastamoinen and Nylander, 1996).

Where successive measurements can be done across time, repeatability estimates provide an indication of the degree of influence of permanent effects on the phenotypic variation. This parameter allows prediction of future performance from past records, based on the correlation among measured values in the repeated evaluations of identical horses. The reviewed bibliography shows repeatabilities from 0.07 for placing trait in endurance horses (Ricard and Touvais, 2007) to 0.57 for race time in trotter horses (Thuneberg-Selonen et al., 1999). In this study, the lowest repeatability was obtained for the PFP (0.31). Usually, ranking traits showed higher repeatabilities (Bakhtiari and Kashan, 2009; Svobodova et al., 2005) for a horse's performance. The highest repeatability was obtained for the TPK. This trait has also shown the highest repeatabilities in the reviewer bibliography (Bakhtiari and Kashan, 2009; Buxadera and da Mota, 2008; Ricard and Touvais, 2007; Thuneberg-Selonen et al., 1999). These repeatabilities are caused by the effect of a permanent environment. In this work they were 0.17 for PFP, 0.27 for AE, 0.34 for BRTHS and 0.37 for TPK. These values make an early evaluation of the animals possible because less data are needed.

As was expected, phenotypic correlations between PFP and time traits were low (0.02 and 0.05 with TPK and BRTHS, respectively), because of the ranking trait analyzed. Using PFP, we took into account only the starts when the horses obtained a first place in the ranking. Therefore, they could be obtaining good time results but being ranked in the second place, so their value for the PFP would be zero.

The genetic correlations between traits are of medium-high magnitude; therefore, the effort made by the breeders to improve one of these selection criteria is always related to an improvement for all the traits included in the breeding program. As expected, the genetic correlations between time traits and the others were always negative, because a lower racing time is related to higher AE and higher PFP.

The selection of the reproducers and the design of the mating program have been useful until now, because an improvement in racing results was shown in the STH despite the use of an official selection program (Fig. 2). Similar results were shown previously by Arnason (2001), and corrected by some non-genetic factors that condition the time traits and the average values (hippodrome, track, position, sex, age, nutrition or training, for example).

Although breeding practices that make selection programs effective in generating genetic gain also contribute to increase F and to reduce mean phenotypic values for some traits (Gómez et al., 2009), the continuous use of imported reproducers (mainly from France and America, Table 2) causes the mean inbreeding level of the whole population of the STH to be low (0.005).

In this sense, the STH can be considered as a composite population, because of the imported breeding stock for the main Trotter Horse Breeds. Given the important relationship between the different populations of trotter horses all around the world, the development of international genetic evaluation procedures are very interesting to ensure the genetic progress of these populations and the results obtained for the offspring in other countries are very important to contribute in the real genetic evaluation of reproducers.

Genetic connectedness between the races, hippodromes and countries of origin was proved before the parameter estimation. The genetic relationships of the STH with the other Trotter populations were also shown regarding the information registered in the Studbook (Table 2) and performance data available (Table 4). The influence of American and French Trotters was important. American Trotters appeared mainly as reproducers, whereas French Trotters were included as sires and as animals in the database, because of the geographic nearness and the agreement

**Table 4**  
Analysis of genetic connectedness of the performance data used for the genetic evaluation of Trotter Horses in Spain.

Parameter	Race		Hippodrome		Country		
GS (%)	Aver	13.91	17.81	21.87	61.79	13.28	12.94
	Min	4.35	3.92	4.19	32.51	0.10	0.12
	Max	100	100	95.11	98.97	79.03	99.95
Contribution to GS (%)	Spain (82*)	USA (41*)	Manacor (39) Son Pardo (36.6)	Manacor (37.7) Son Pardo (35.9)	Spain (74.3) France (10.4)	USA (42.11) France (33.52)	

Where: GS is genetic similarity (Thorén et al., 2008) and \* represented the value in percentage taking the 100 animals with higher contribution.

between the official Federations to facilitate the participation of French Trotters in Spain and vice versa.

So, the STH population could be interesting as a connecting population in order to make an international genetic evaluation of trotter horses in the future. An adequate across-country comparison is feasible if the populations are well-connected because too weak ties between countries will lead to large fluctuations in the results (Jorjani et al., 2005; Mark et al., 2005). Recent studies have shown that genetic connectedness among populations could be adequate to ensure the international use of nationally estimated breeding values of sport horses (Ruhmann et al., 2009; Thorén et al., 2008). Arnason (2008) has shown genetic correlations close to 1 across some countries for conformation and riding ability traits in trotter horses. So, the international genetic evaluation of performance data in trotter horses could also be possible and the genetic parameters obtained in the STH could be taken into account for this evaluation.

## 5. Conclusion

Estimation of genetic parameter in the STH using a multivariate animal model with repeatability was developed following the international recommendations of the Interstallion working group. According to our results the four proposed traits were appropriate criteria to select Trotter Horses in Spain for racing ability. They have shown adequate heritabilities, repeatabilities and genetic correlations between them; so, they appear to be very useful tools for breeders. The highest genetic correlations were obtained for BRTHS (between 0.62 and 0.99). Therefore, it could be used as unique selection criteria in this breed, because an improvement in this trait results in better results in the other analyzed traits.

The multiple genetic origins of the STH because of the use of many imported stallions, it could be considered as a connecting population between the main Trotters populations. So, it is very interesting to include the STH in the international evaluation for trotter horses. This work may therefore be a possible model for future International joint evaluation of the Interstallion working group.

## Acknowledgments

The authors wish to thank the Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs and the Breeders' Association (AsTROT) for the support of this study within the Breeding Program of the Spanish Breeders Trotter Horse Association; and the Breeders' Association (AsTROT) and the Official Trot Federation for the data used in this research. The authors also wish to thank Eildert Groeneveld for his assistance in the use of the VCE6 software and Cristobal Medina (MERAGEM Research Group) for his assistance in the development of some complementary programs for this work.

## References

- Arnason, Th., 1987. Contribution of various factors to genetic evaluations of stallions. *Livest. Prod. Sci.* 16 (4), 407–419.
- Arnason, Th., 1999. Genetic evaluation of Swedish standard-bred trotters for racing performance traits and racing status. *J. Anim. Breed. Genet.* 116, 387–398.
- Arnason, Th., 2001. Trends and asymptotic limits for racing speed in Standardbred trotters. *Livest. Prod. Sci.* 72, 135–145.
- Arnason, Th., 2008. Experience from genetic evaluations of Nordic trotters and Icelandic horses across countries. Interstallion Seminar. Uppsala, 29–30 May. [http://www.biw.kuleuven.be/genlog/livgen/workshop/S\\_ThrovaldurA.pdf](http://www.biw.kuleuven.be/genlog/livgen/workshop/S_ThrovaldurA.pdf) (accessed September 2nd, 2008).
- Bakhtiari, J., Kasha, N.E.J., 2009. Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 120 (1–2), 151–157.
- Bokor, A., Blouin, C., Langlois, B., Stefler, J., 2005. Genetic parameters of racing merit of Thoroughbred horses in steeplechase races. *Ital. J. Anim. Sci.* 4 (3), 43–45.
- Bugislaus, A.E., Roehe, R., Kalm, E., 2005. Comparison of two different statistical models considering individual races or racetracks for evaluation of German trotters. *Livest. Prod. Sci.* 92 (1), 69–76.
- Burns, E.M., Enns, R.M., Garrick, D.J., 2004. The status of equine genetic evaluation. *Proceedings, Western Section. Amer. Soc. Anim. Sci.* 55, 82–86.
- Buxadera, A.M., da Mota, M.D.S., 2008. Variance component estimations for race performance of thoroughbred horses in Brazil by random regression model. *Livest. Sci.* doi:10.1016/j.livsci.2007.12.027
- Ekiz, B., Kocak, O., 2005. Phenotypic and genetic parameters estimates for racing traits of Arabian horses in Turkey. *J. Anim. Breed. Genet.* 122, 349–356.
- Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., Gutiérrez, J.P., Goyache, F., 2009. Assessment of inbreeding depression for body measurements in Spanish Purebred (Andalusian) horses. *Livest. Sci.* 122 (2–3), 149–155.
- Groeneveld, E., 1990. PEST User's Manual. Institute of Animal Husbandry and Animal Behaviour, Federal Agricultural Research Centre, Neustadt-Mariensee, Germany.
- Groeneveld, E., Kovac, M., Mielenz, N., 2008. VCE User's guide and reference manual. Version 6.0. [ftp://ftp.tzv.fal.de/pub/latest\\_vce/doc/vce6-manual-3.1-A4.pdf](ftp://ftp.tzv.fal.de/pub/latest_vce/doc/vce6-manual-3.1-A4.pdf). (accessed December 21th, 2008).
- Interstallion, 2008. Recommendations on choice of scale and reference population for publication of breeding values in sport horse breeding. <http://wbfsh.1point.nl/docs/interst/publicationscale.pdf>. accessed April 4th, 2008.
- Jorjani, H., Emanuelson, U., Fikse, W.F., 2005. Data sub-setting strategies for estimation of across country genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88, 1214–1224.
- Langlois, B., 1984. L'heritabilité des performances chez le trotteur. Une revue bibliographique. *Genet. Sel. Evol.* 14 (3), 399–414.
- Langlois, B., Blouin, C., 2004. Practical efficiency of breeding value estimation base don annual earnings of horses for jumping, trotting and galloping races in France. *Livest. Prod. Sci.* 87, 99–107.
- Langlois, B., Blouin, C., 2006. Annual, career or single race records for breeding value estimation in race horses. *Livest. Sci.* 107 (2–3), 132–141.
- Langlois, B., Vrijenhoek, T., 2004. Qualification status and estimation of breeding value in French trotters. *Livest. Prod. Sci.* 89, 187–194.
- Leleu, C., Cotel, C., Barrey, E., 2003. Effect of age on locomotion of standardbred trotters in training. *Equine Comp. Exer. Phys.* 1 (2), 107–117.
- Lewczuk, D., 2007. The effect of training on linear jumping parameters in young stallions. *Equine Comp. Exer. Phys.* 4, 159–165.
- Mark, T., Madsen, P., Jensen, J., Fikse, W.F., 2005. Prior (co)variances can improve multiple-trait across-country evaluations of weakly linked bull populations. *J. Dairy Sci.* 88, 3290–3302.
- Minkema, D., 1975. Studies on the genetics of trotting performance in Dutch Trotters.I. The heritability of trotting performance. *Ann. Genet. Sel. Anim.* 7, 99–121.
- Ojala, M., 1987. Heritabilities of annually summarized race records in trotters. *J. Anim. Sci.* 64, 117–125.
- Ojala, M., van Vleck, L.D., 1981. Measures of racetrack performance with regard to breeding evaluation of trotters. *J. Anim. Sci.* 53, 611–619.
- Ojala, M., van Vleck, L.D., Quaas, R.L., 1987. Factors influencing best annual racing time in Finnish Horses. *J. Anim. Sci.* 64, 109–116.
- Powers, P.N.R., Kavanagh, A.M., 2005. Effect of rider experience on the jumping kinematics of riding horses. *Equine Comp. Exer. Phys.* 2, 263–267.
- Ricard, A., 1997. Breeding evaluations and breeding programmes in France. Paper presented at the 48th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 25–28 August, Vienna, Austria.
- Ricard, A., 1998. Developments in the genetic evaluation of performance traits in horses. *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, NSW, Australia.*
- Ricard, A., 2005. Les croisements franco-américains chez le trotteur: une expérience réussie? *INRA, Prod Anim.* 18 (2), 79–86.
- Ricard, A., Touvais, M., 2007. Genetic parameters of performance traits in horse endurance races. *Livest. Sci.* 110, 118–125.
- Ruhmann, C., Bruns, E., Fraehr, E., Philipsson, J., Janssens, S., Quinn, K., Thorén Hellsten, E., Ricard, A., 2009. Genetic connectedness between seven

- European countries for performance in jumping competitions of warmblood riding horses. *Livest. Sci.* 120 (1–2), 75–86.
- Saastamoinen, M.T., Nylander, A., 1996. Genetic and phenotypic parameters for age at starting to race and racing performance during early career in Trotters. *Livest. Prod. Sci.* 45, 63–68.
- Svobodova, S., Blouin, C., Langlois, B., 2005. Estimation of genetic parameters of Thoroughbred racing performance in the Czech Republic. *Anim. Res.* 54, 499–509.
- Tavernier, A., 1990. Estimation of breeding value of jumping horses from their ranks. *Livest. Prod. Sci.* 26, 277–290.
- Thiruvankadan, A.K., Kandasamy, N., Panneerselvam, S., 2009. Inheritance of racing performance of Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 121 (2–3), 308–326.
- Thorén, E., Jorjani, H., Philipsson, J., 2008. Connectedness among five European sport horse populations. *Livest. Sci.* 118 (1–2), 147–156.
- Thuneberg-Selonen, T., Pösö, J., Mäntysaari, E., Ojala, M., 1999. Use of individual race results in the estimation of genetic parameters of trotting performance for Finnhorse and Standardised trotters. *Agric. Food Sci. Finl.* 8 (4–5), 353–363.

**ARTÍCULO 2. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LA VELOCIDAD DE CARRERA A DIFERENTES DISTANCIAS EN CABALLOS TROTADORES ESPAÑOLES JÓVENES Y ADULTOS UTILIZANDO UN MODELO DE REGRESIÓN ALEATORIA.****TITLE: ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR RACING SPEED AT DIFFERENT DISTANCES IN YOUNG AND ADULT SPANISH TROTTER HORSES USING THE RANDOM REGRESSION MODEL**Authors: M.D. Gómez, A. Menendez-Buxadera, M. Valera, A. Molina

Publication: Journal of Animal Breeding and Genetics 127 (5) (2010): 385-394

**Resumen de los resultados**

En este estudio se han utilizado un total de 71522 registros de participación (de 3154 caballos) para la variable *tiempo por kilómetro* (TPK), recogidos en *Caballos Trotadores Españoles* (registros de participación individual) en carreras celebradas entre 1991 y 2007. Los valores de TPK para los diferentes grupos de edad (caballos jóvenes y adultos) y las diferentes distancias (1600-2700 m) fueron considerados como variables diferentes, y se aplicó un modelo de regresión aleatoria (RRM) bivariante para la estimación de los componentes de (co)varianza a lo largo de la trayectoria de los grupos de edad y las distancias. Los siguientes efectos fueron considerados como fijos: la combinación hipódromo-fecha de carrera (404 niveles), el sexo de los animales (3 niveles), el tipo de salida (2 niveles) y una regresión fija de los polinomios de Legendre (orden 2). La regresión aleatoria del polinomio de Legendre (orden 1) para los animales (9201 animales en el fichero de pedigree), el efecto ambiental permanente individual (3154 animales con datos) y el conductor (957 niveles) fueron considerados como efectos aleatorios. La varianza residual fue considerada heterogénea con dos clases (las edades).

La heredabilidad estimada en función de la distancia osciló entre 0,12 y 0,34, con una trayectoria diferente para los dos grupos de edad. Dentro de cada grupo de edad, las correlaciones genéticas entre las distancias adyacentes fueron elevadas (>0,90), pero decrecieron cuando la diferencia entre ellas era próxima a los 400 metros para ambos grupos de edad. Las correlaciones genéticas para la misma distancia entre los grupos de edad oscilaron entre 0,47 y 0,78. En consecuencia, la variable analizada (TPK) puede ser considerada como correlacionada positivamente desde el punto de vista genético, pero como una variable diferente a lo largo de la trayectoria de distancias y edades. Por ello, se pueden esperar algunos cambios en la clasificación genética de los animales en función de su valor de cría para las diferentes características de cada carrera. La utilización de RRM

está recomendada, porque nos permite estimar el valor genético a lo largo de toda la trayectoria de la competición de carreras.

## ORIGINAL ARTICLE

## Estimation of genetic parameters for racing speed at different distances in young and adult Spanish Trotter horses using the random regression model

M.D. Gómez<sup>1</sup>, A. Menendez-Buxadera<sup>1</sup>, M. Valera<sup>2</sup> & A. Molina<sup>1</sup><sup>1</sup> Department of Genetics, University of Cordoba, Cordoba, Spain<sup>2</sup> Department of Agroforestry Sciences, EUITA, University of Seville, Seville, Spain**Keywords**

Equine; heritability; performance; trotting race.

**Correspondence**M<sup>a</sup> Dolores Gómez Ortiz, Department of Genetics, University of Córdoba, Campus de Rabanales. Ctra. Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Córdoba. Spain.

Tel: +34 957 21 87 35; Fax: +34 957 21 87 07; E-mail: pottokamd@gmail.com

Received: 17 August 2009;

accepted: 11 February 2010

**Summary**

A total of 71 522 records (from 3154 horses) with the times per kilometre (TPK), recorded in Spanish Trotter horses (individual races) from racing performances held from 1991 to 2007, were available for this study. The TPK values for the different age groups (young and adult horses) and different distances (1600–2700 m) were considered as different traits, and a bi character random regression model (RRM) was applied to estimate the (co)variance components throughout the trajectory of age groups and distances. The following effects were considered as fixed: the combination of hippodrome-date of race (404 levels); sex of the animals (3 levels); type of start (2 levels) and a fixed regression of Legendre polynomials (order 2). Those considered as random effects were the random regression Legendre polynomial (order 1) for animals (9201 animals in the pedigree); the individual environment permanent (3154 animals with data) and the driver (n = 957 levels). The residual variance was considered as heterogeneous with two classes (ages). The heritability estimated by distance ranged from 0.12 to 0.34, with a different trajectory for the two age groups. Within each age group, the genetic correlations between adjacent distances were high (>0.90), but decreased when the differences between them were over 400 metres for both age groups. The genetic correlations for the same distance across the age groups ranged from 0.47 to 0.78. Accordingly, the analysed trait (TPK) can be considered as positive genetic correlated but as different traits along the trajectory of distance and age. Therefore, some re-ranking should be expected in the breeding value of the horses at different characteristics of the racing. The use of RRM is recommended because it allows us to estimate the breeding value along the whole trajectory of race competition.

**Introduction**

Trotter horses rank second to Thoroughbreds in worldwide popularity as racehorses; however, the breeds specialized for trotter horse-racing are native

to many countries, whereas Thoroughbreds are an international breed (Thiruvankadan *et al.* 2009). The Spanish Trotter horse (STH) is selected by their racing performance to produce animals with high performance results in national and international

trotting races. In Spain, trotting races have been held since the beginning of the 20th century and annually about 1500 races are held in 11 different hippodromes, with over 4500 horses participating (Gómez *et al.* 2010).

The evaluation of the performance of trotter horses is based on a combination of different traits that, taken together, are supposed to represent horses' ability to perform in this discipline (Thiruvenkadan *et al.* 2009). In Spain, as in many other European countries, trotters are genetically evaluated on a routine basis for racing performance traits by using a repeatability multivariate best linear unbiased prediction animal model using competition results from each horse (Bugislaus *et al.* 2005b for Germany; Gómez *et al.* 2010 for Spain; Rohe *et al.* 2001 for Germany). For this, four different traits have been used: logarithmic transformation of the annual earnings (annual summarized), the square root of the percentage of the first placing in a year (annual summarized), time per kilometre (individual races) and best racing time/hippodrome/type of start (annual summarized) (Gómez *et al.* 2010). Nevertheless, to optimize the genetic progress, the breeders need more genetic information about the conditions in which the animals are going to compete.

However, in practical terms, the animals compete at different ages and at variable distances. This means that a longitudinal trait such as time per kilometre (TPK) in the individual races is usually evaluated as a transversal one.

Random regression model (RRMs) have become a popular choice for modelling traits, which are measured repeatedly per individual, but change gradually and continually with time, because of improved modelling of variances and genetic parameters (Meyer 2004). There are very few studies using this methodology in horses (Bugislaus *et al.* 2006; Menendez-Buxadera & Mota 2008; Posta *et al.* 2009).

According to Menendez-Buxadera & Mota (2008), the best way of evaluating a horse's genetic merit is by measuring the results in all trajectories of the competition, rather than by evaluating a few transversal points of race horse activity in competitions at different distances. Also Bugislaus *et al.* (2006) affirmed that there are different genes affecting the traits, depending on the age of the animal, which change the physiology and, consequently, the performance of trotters, so that the estimation of breeding values (BV) of trotters by age seems to be a very interesting alternative approach.

The first articles which applied more suitable models were published by Bugislaus *et al.* (2006) and

Menendez-Buxadera & Mota (2008); however, both articles studied only one part of the trajectory. Bugislaus *et al.* (2006) analysed the trajectory of racing time per kilometre by age (6 classes: 2, 3, 4, 5, 6 and over 6 year olds) in German trotter horses; whereas Menendez-Buxadera & Mota (2008) analysed the complete race time (in seconds) by distance (7 classes: 1000–1600 m) in Brazilian Thoroughbreds. The performance ability of both breeds was very different because Thoroughbred races are normally shorter (suitable for sprinters) and they run at a gallop (maximum speed), whereas the trotter horses run at different distances and always at trot.

In this study, both strategies were combined by analysing the evolution of genetic (co)variances by distance in two different age groups in this Trotter horse population. Therefore, the aim of this study was to estimate the genetic parameters of racing performance in STH by age and race distance using RRM (based on the individual race trait: time per kilometre), to evaluate its application in the official breeding programme.

## Materials and methods

### Available data

Times per kilometre (speed in the individual races) was chosen as the selected variable in this study because (i) it is the only direct measure of speed, (ii) it is a suitable quantitative measure that can be used to evaluate the racing performance of horses (Ekiz & Kocak 2005), (iii) it reflects the speed capacity of the horses when many favourable environmental conditions are met, namely the sum of the effects of many genetic and environmental factors (Arnason 2001) and (iv) it is the most important trait for selection in trotter horses, because it represents the highest heritability of all analysed single race performances (Bugislaus *et al.* 2005a).

Records from STH competitions were collected from the Official Trotting Federation database. The main database consisted of 114 880 race performances in 10 hippodromes, taken from 4387 horses driven by 1576 drivers and collected from 1991 to 2007.

Races with jockeys were excluded because they are less common in Spain. The starting method in all the races was autostart or handicap. The autostart starting method is a mobile start which consists of two folding arms attached to a motor vehicle. The horses in a race follow the barrier as it gathers speed, until the arms fold back and a start is made. The

handicap starting method, on the other hand, is the practice of giving a head-start to the horses with worst performance results to even out their chances of winning. In this way, the horses start the race according to their previous performance (better animals were penalized with an extra distance). The combination of hippodrome-racing date (HDR) with <30 observations was deleted, and records with age over 8 years old were not considered. For the analysis, the age factor was divided into two groups: young horses (2–4 years old) and adult horses (5–8 years old), and they had to have over five race records to be included in the analysis.

The final database included 71 522 records/404 HDR from 3154 horses (63% males and 37% females), in races held from 1991 to 2007. Table 1 shows the number of observations and animals, grouped by age and distance. Mean values for time per kilometre (in seconds) are also presented, grouped by race distance (short distance: <2000, medium distance: ≥2000 and ≤2200 and long distance: >2200) and age.

The pedigree file to calculate the inverse of the relationship matrix was generated from the Studbook of this breed by including all the ancestors of the recorded animals until the fourth generation,

**Table 1** Number of records and animals (in brackets), grouped by age (1 = 2–4 years old and 2 = 5–8 years old), and distance (m) and average time per kilometre (TPK) in seconds by distance class

Age group	Records (animals)		TPK $\bar{X} \pm SD$
	1	2	
1600	3851 (1259)	2190 (931)	83.73 ± 6.19
1650	855 (263)	328 (134)	85.40 ± 5.48
1700	5813 (1756)	4625 (1390)	83.39 ± 4.50
1750	302 (174)	269 (167)	86.58 ± 4.35
1800	779 (275)	328 (137)	88.09 ± 4.83
1900	240 (113)	278 (109)	87.22 ± 3.93
1950	517 (154)	647 (117)	84.70 ± 4.26
2000	713 (279)	987 (283)	85.98 ± 3.85
2050	4291 (1228)	4565 (1011)	82.61 ± 2.63
2100	5281 (1541)	5185 (1352)	83.16 ± 3.55
2150	937 (448)	819 (359)	82.51 ± 4.95
2200	5118 (1478)	5276 (1353)	82.58 ± 3.69
2250	989 (255)	1716 (305)	84.80 ± 3.21
2300	625 (337)	1010 (422)	85.81 ± 3.52
2350	3800 (1205)	4285 (1001)	82.77 ± 2.49
2400	199 (145)	509 (266)	85.76 ± 3.58
2500	192 (122)	349 (188)	85.19 ± 3.73
2550	109 (70)	141 (81)	86.58 ± 3.10
2600	965 (643)	1163 (662)	83.67 ± 3.15
2700	509 (336)	368 (266)	83.11 ± 3.40

thus giving a total of 9201 animals. Although it is a relatively recent Studbook (started in 1979), the number of registered horses is high because the animals imported for breeding were registered with all their pedigree information.

## Methods

The results of the dependent variable (TPK) recorded for two age groups of the animals and the different distances were considered as different traits. Accordingly, it was decided to apply a bi character RRM using the ASREML software developed by Gilmour *et al.* (2000), which allows us to estimate the (co)variance components over the trajectory of age groups and distances. The following model was applied:

$$y = HDR_i + S_l + C_o + \sum_{m=0}^{q_f} \beta_{kp} \lambda_{tm} + \sum_{m=0}^{q_a} \alpha_{jp} \lambda_{tm} + \sum_{m=0}^{q_w} \gamma_{jp} \lambda_{tm} + \sum_{m=0}^{q_c} v_{np} \lambda_{tm} + e_{ijklnopx}$$

where:  $y$  is the observation  $x$  of the dependent variable (TPK) recorded at age  $p$  of animal  $j$ , of sex  $l$  with starting method  $o$  and driven by driver  $n$  in  $i$  combinations of hippodrome-race date performed over the trajectory of distances  $t$ . In this model, the  $HDR_i$  effects (404 levels),  $S_l$  (3 levels) and  $C_o$  (2 levels), as well as the regression of Legendre polynomials (order  $m = q_f = 2$ ) of  $y$  on the distances  $t$  were considered as fixed effects. Those effects considered as random were animal effects ( $\alpha_j$  and  $j = 9201$  animals in the pedigree); the permanent environment effect because of repetitions of the same variable in the animal ( $\gamma_j$  and  $j^* = 3154$  animals with data) and the driver ( $v_n$  and  $n = 957$  levels). Variables  $\lambda_{tm} = \phi_m(t)$  are elements of the  $K_t$  random regression matrix for the Legendre polynomial  $\phi_m$  of order  $m$  and the variable scale  $t$  (distance) expressed in standardized form between  $-1$  and  $+1$ . The order of adjustment of these polynomials was  $q_a = q_w = q_c = 1$  for the genetic effects of the animal, for the permanent environment of the animal with repeated data and for the effect of the driver, respectively. The residual variance ( $e$ ) was considered heterocedastic, with two levels (age groups).

In this model, it is assumed that the variance of  $y$  is:

$$V(y) = \lambda_{tm}(K_j \otimes A) \lambda'_{tm} + \lambda_{tm}(K_w \otimes I_w) \lambda'_{tm} + \lambda_{tm}(K_c \otimes I_c) \lambda'_{tm} + R$$

where  $\mathbf{K}_i$  corresponds to the coefficients of random regression matrix,  $\mathbf{i} = \mathbf{j}$  is the matrix of genetic effects ( $\mathbf{G}_0$ ),  $\mathbf{i} = \mathbf{w}$  is the matrix of individual permanent environment effects and  $\mathbf{i} = \mathbf{c}$  is the matrix of environmental variance because of the effect of the driver.  $\mathbf{A}$  is the numerator relationship matrix between animals;  $\mathbf{I}_w$  and  $\mathbf{I}_c$  are identity matrices with  $\mathbf{q}_w \times \mathbf{j}^*$  levels for each age for the permanent environmental effect and  $\mathbf{q}_n \times \mathbf{n}$  for the random effects because of the driver for each age. In this model, the variance and covariance components of TPK for each age and each point in the trajectory of distances  $\mathbf{t}$  are obtained by applying an additional procedure originally proposed by De Jong (1995):

For genetic components at distances  $\mathbf{t}$  ( $\mathbf{G}_{ot}$ ) for ages  $p = 1$  and  $p = 2$ :

$$\mathbf{G}_{ot} = \begin{bmatrix} \Phi_m \mathbf{K}_{j_1} \Phi'_m & \Phi_m \mathbf{K}_{j_{2,1}} \Phi'_m \\ \Phi_m \mathbf{K}'_{j_{1,2}} \Phi'_m & \Phi_m \mathbf{K}_{j_2} \Phi'_m \end{bmatrix}$$

With the same notation for the individual permanent environmental effect ( $\mathbf{P}_{wt}$ ) and for the driver effect ( $\mathbf{P}_{rt}$ ), this produces:

$$\mathbf{P}_{wt} = \begin{bmatrix} \Phi_m \mathbf{K}_{w1} \Phi'_m & \Phi_m \mathbf{K}_{w_{2,1}} \Phi'_m \\ \Phi_m \mathbf{K}'_{w_{1,2}} \Phi'_m & \Phi_m \mathbf{K}_{w2} \Phi'_m \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_{rt} = \begin{bmatrix} \Phi_m \mathbf{K}_{r1} \Phi'_m & 0 \\ 0 & \Phi_m \mathbf{K}_{r2} \Phi'_m \end{bmatrix}$$

These procedures are facilitated by the fact that the order of the fit ( $\mathbf{m}$ ) and the numbers of elements for the Legendre polynomial  $\Phi_m$  are the same. By using the appropriate elements for  $\mathbf{G}_0$ ,  $\mathbf{P}_n$ ,  $\mathbf{P}_r$  and  $\Phi_m$ , we can obtain the genetic (co)variance components and the environmental variance components along all points of the trajectory of distances  $\mathbf{t}$ . The heritability ( $h^2$ ) and the genetic correlation ( $r_g$ ) for each trait, within and across the ages for each distance, are computed from these variance-covariance components, plus the corresponding residual variance.

The solutions produced by the model for each animal contain  $\mathbf{m}$  genetic random regression coefficients for age groups 1 and 2 and were used to estimate the breeding values ( $\mathbf{BV}^i$ ) for any point  $t$  along the trajectory of distances. These can be obtained using:

$$\mathbf{BV}_t^i = \Phi_m \mathbf{a}_i'$$

where  $\mathbf{a}_i$  represents the solution for animal  $\mathbf{i}$  ( $\mathbf{m}_0$  for intercept and  $\mathbf{m}_1$  for linear regression coefficient). In this expression, only the values of  $\Phi_m$  change for all the points of the trajectory at distances  $\mathbf{t}$ , and these are offered as an output file by ASREML.

When we estimated the BV for each animal, the correlations between them at different distances were estimated. Taking the correlation matrix between the BV for both age groups, a principal component analysis (PCA) was made using SAS, v. 6.12 (SAS, 1996), to detect the underlying structure of the data. The PCA allows us to recover a lower dimension vector space onto which the original variables can be projected. By transforming the original variables to a smaller number of uncorrelated variables, PCA makes it easier to interpret the data and detect its particular structure.

Finally, the middle distance BV (2200 m) were used as a reference population to evaluate the efficiency of selection in trotter horses at different distances. The best 10% of the animals (elite animals) for this distance were selected, and the percentage of coincidence with the best 10% of the horses at other distances was estimated (Table 3).

## Results

### Average racing speed in STH

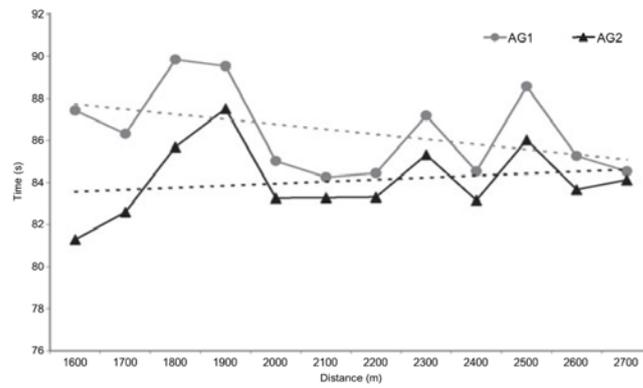
The evolution of average times by distance is shown in Figure 1. The highest speeds were obtained at the shortest distances (under 2000 m), whereas middle distance races (2000–2200 m) had the same average speed and long races (>2200 m) showed similar average speed values with a heterogeneous evolution.

### Genetic parameters by race distance

Figure 2 shows the graphical representation of the trajectory of the heritabilities and genetic and phenotypic variances for speed, depending on race distance and grouped by age (young, group 1 and adult, group 2). For age group 1, higher heritability values were obtained over shorter distances ( $h^2 = 0.34$  for 1600 m). This value decreased with distance, with the lowest value at 2500 m ( $h^2 = 0.12$ ). For group 2, the heritability levels ranged from 0.13 (for 1600 m) to 0.28 (for 2700 m). The heritability levels at medium distance races (2100 m) were very similar for both age groups (0.18). These changes were caused by the changes in genetic variances by distance, because the trajectory of the phenotypic variances by distance is similar for age groups 1 and 2.

The genetic correlations between distances (Table 2) ranged from 0.17 to 0.99 for group 1 (above the diagonal) and from 0.68 to 0.99 for group

**Figure 1** Variation of times by distance in Spanish Trotter horses races by age group (1 = 2–4 years old ● and 2 = 5–8 years old ▲) and distance (tendencies for each age group were shown). Note: dotted lines represent the tendency in the speed by distance.

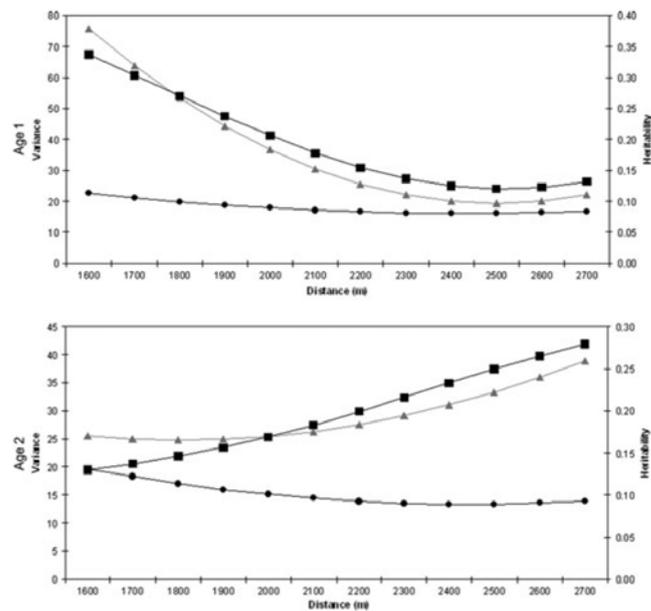


2 (below the diagonal). As was expected, the highest correlation values were obtained between the adjacent *t* distances and the lowest between the more separated distances. The genetic correlations between groups 1 and 2 at different distances were also shown in Table 2. These were of medium to high magnitude, ranging from 0.47 to 0.78.

Table 3 shows the results of the comparison between the BV of elite horses (the top 10% in terms of their breeding value). The percentage of coincidence for the elite horses was in the medium range, between 33.3 and 78.1%.

Figure 3 shows the evolution of the first and second eigenvector coefficients, obtained by using the

**Figure 2** Variance components and heritability values for time at different distances, grouped by age, in Spanish Trotter Horse. Where: ▲ is genetic variance, ● is phenotypic variance and ■ is heritability.



**Table 2** Genetic correlations between the speed at different distances according to age group (age group 1 -A1- above the diagonal and age group 2 -A2- below the diagonal) and between the trait at different age groups by distance (last column A1-A2)

Distance	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	A1-A2
1600		0.999	0.993	0.982	0.961	0.924	0.866	0.779	0.657	0.505	0.334	0.165	0.708
1700	0.997		0.998	0.990	0.974	0.943	0.891	0.810	0.696	0.549	0.384	0.216	0.731
1800	0.986	0.996		0.997	0.986	0.962	0.918	0.846	0.739	0.601	0.441	0.277	0.751
1900	0.968	0.986	0.996		0.996	0.980	0.945	0.883	0.788	0.659	0.507	0.507	0.767
2000	0.944	0.968	0.986	0.997		0.994	0.971	0.922	0.841	0.725	0.583	0.432	0.778
2100	0.914	0.945	0.969	0.986	0.997		0.991	0.959	0.895	0.796	0.669	0.529	0.782
2200	0.879	0.916	0.947	0.971	0.987	0.997		0.988	0.946	0.869	0.761	0.636	0.774
2300	0.842	0.884	0.920	0.950	0.973	0.988	0.997		0.985	0.935	0.852	0.747	0.750
2400	0.802	0.849	0.890	0.926	0.954	0.975	0.990	0.998		0.982	0.930	0.852	0.705
2500	0.761	0.812	0.858	0.899	0.932	0.959	0.978	0.991	0.998		0.982	0.935	0.638
2600	0.720	0.775	0.826	0.870	0.909	0.940	0.963	0.981	0.992	0.998		0.985	0.555
2700	0.680	0.738	0.793	0.841	0.884	0.919	0.947	0.968	0.983	0.993	0.998		0.465

Correlations higher than 0.9 are shaded.

**Table 3** Percentage of coincidence for elite horse (animals with the top 10% BV for middle distances) at short (1600 m), middle (2200 m) and long (2700 m) race distances, grouped by age (1 = above the diagonal; 2 = below the diagonal)

Race distance*	1600	2200	2700
1600		68.4%	33.3%
2200	54.2%		49.8%
2700	36.1%	78.1%	

\*Middle distance was used as the reference population.

correlations between the BV obtained for each distance for both age groups by PCA. The first component was over 81.8% for age group 1 and 95.9% for age group 2, whereas the second one was 18.2% for age group 1 and 4.1% for age group 2.

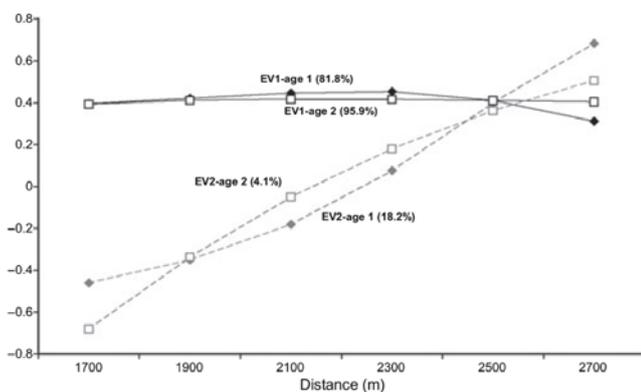
Finally, to show the effectiveness of the methodology used, Figure 4 shows the differences in trajec-

tory of BV by distance for four animals, taking age group 1 as a reference.

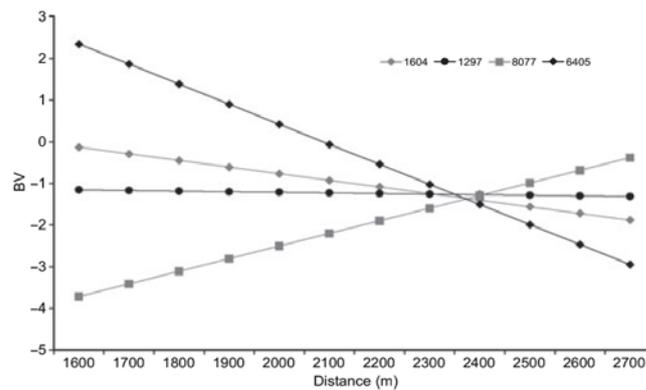
We can observe that instead of the animals having similar BV at middle distances (2300–2400 m), they showed a different trajectory for their BV by distance. There is one animal with stable behaviour (1297), in which the changes in the BV are minimum over the whole trajectory of distances; however, other animals showed BV that decreased when the race distance increased (6405 and 1604) or vice versa (8077).

**Discussion**

The economic importance of the trade of stallions and semen between countries over the last decades has contributed to a greater interest among breeders to obtain more realistic and reliable genetic



**Figure 3** Evolution of the coefficients for the first and second eigenvectors (EV1 and EV2) over the whole trajectory of distances in animals at age groups 1 (◆) and 2 (□).



**Figure 4** Variation of breeding values (BV) over distance trajectory in five animals from the analysed population.

information about the animals. This information helps to maximize genetic progress in the population. The methodology used until now has been based on a repeatability animal model and has not achieved this purpose because the BV have been biased, because of the assumption that the type of response is the same over the whole trajectory of race competitions.

In this study, using a bi character RRM, the estimates of heritability for time per kilometre ranged from 0.12 to 0.34 (Figure 2). These values were similar to the values obtained by a classic approach (repeatability animal model) in the same population (Gómez *et al.* 2010) and within the range of publications available for the same trait using a classic animal model (Bugislaus *et al.* 2005a,b; Katona & Distl 1989; Minkema 1975; Pösö & Ojala 1997; Roehle *et al.* 2001; Thuneberg-Selonen *et al.* 1999).

Our general results showed different behaviour in the evolution of genetic parameters (mainly in the genetic variability) for young and adult horses. It is clear that the age of the animal had significant influence on the performance. Different factors caused the differences in behaviour: the physiological status of the animal (related to the animal's level of maturity and training and their previous experiences on the track), the preselection in young horses to participate in long distances, the driver-horse interaction in the more tactical (long-distance) or faster (short-distance) races and the stricter control of young horses in races (when compared to adults) to avoid injuries and galloping.

Therefore, the estimates of heritability for speed tend to decrease in young animals as racing distance increases and to increase slightly in adult animals.

This influence of age on the estimates of heritability values for speed has been shown previously by other authors in Trotter horses by distance (Katona & Distl 1989) and using RRM (Bugislaus *et al.* 2006). According to these authors, there are a number of factors that can influence these changes. In trotting races, as with Thoroughbreds, young horses usually start their racing career in sprint events and compete at short distances before the decision is taken to race them at long distances or for them to retire. All horses can compete in short races which include not only true sprinters but also resistant horses, which take part mainly to gain fitness for future races (Bakhtiari & Kashan 2009).

This is the reason why poor young performers seldom progress to longer events and the longer distances contain a preselected population of trotter horses with a lower genetic variation among them. Besides, in trotter horses, because their racing career starts early (2 years old), the driver's control over the young animals is greater than in adult horses. This fact is more evident in longer races than in shorter ones where the animals can show their genetic potential better. Oki & Sasaki (1995) affirmed that the longer the racing distance, the more environmental factors influence the racing performance. Bakhtiari & Kashan (2009) explained that at longer distances, the drivers of the leading horses can reduce the horse's speed and thus contribute more environmental variation to the racing time of the same horses in their different distances and races; and therefore, the contribution of a non-permanent environment produces lower heritability values at longer distances. Therefore, the heritability values for the longer distances should be lower than

those for the shorter races, where sprinters and stayers compete together (Bakhtiari & Kashan 2009; Bugislaus *et al.* 2006; Langlois & Blouin 2007; Sobczynska 2006). Our results with young animals agreed with this theory and the previous results shown by these authors.

Respect to the animal's permanent environmental effects, repeatability ranged from 0.31 to 0.48 in young animals and from 0.34 to 0.47 in adult horses, but with different tendencies for both groups. Thus, the highest values were shown at shorter distances in young horses and at medium distances in adult horses in concordance with the evolution of heritability.

Finally, our results show that the driver effects were not the same over all distance trajectories in young animals, which are similar results to those presented by Menendez-Buxadera & Mota (2008). However, in adult horses, the driver variance was very low, and therefore the role of the driver effects was very similar over the whole trajectory. This could be explained by the horse's previous experience during the race (higher in adult horses) and the different strategy of the drivers in races at different distances.

The genetic correlations obtained (0.17–0.99, Table 2) have shown that as differences between distances increased, the estimates of genetic correlation decreased. Therefore, the effects of genes acting in the same way at different distances can be considered high. These results were similar to those reported previously by other authors (Bakhtiari & Kashan 2009; Oki *et al.* 1997; Mota 2006; Sobczynska 2006).

In general, the results for a precocious selection (based on shorter distances) will be positive for the rest of distances, although as this correlation deviates from unity, it allows us to identify some animals with a particular genetic potential at all points of the trajectory of distances. Therefore, the selection has to be based on the race distance in which the animals are going to participate, because of the significant differences observed in the genetic ranking (Table 3).

In the same way, the genetic correlations between age groups 1 and 2 within race distance were of medium to high magnitude (0.47–0.78). Using a more restricted age criterion, the results from Bugislaus *et al.* (2006) show that, although the physiology, and consequently the performance, of trotters changes with the age of the animals, the general trend is positive. We can affirm that it is difficult for the expression of a trait within the different physiological phase

to be similar (young and adult horses) over the whole trajectory of distances. Our results are related to a longitudinal analysis, in the sense that the general trends are the same as those published with the classic longitudinal parameters obtained with monthly records in dairy cattle (Lidauer *et al.* 2008), in which the genetic relationships are positive – and different to unity – between the records in the first, second or third lactations. The analysed trait (TPK) shared a genetic basis with a positive correlation over the whole trajectory of distance and ages. This fact can give some important advantages in the selection for a specific type of race (short, middle or long distance) or for good performance by the animals at all distances. In Figure 4, we can see animals which show a stable performance over the whole trajectory of distances (e.g. animal number 1297), and other animals that are better, from the genetic point of view, for short or long distance races. Besides, animal number 6405 shows the best BV at long distances (2700 m) in the analysed populations and animal number 8077 has shown the best BV at short distances (1600 m). However, both horses showed inadequate BV at the other distances. Because of this, we can affirm that in the analysed population there are some genetic variations in the trajectory of distances that must be taken into account for an efficient selection process in this breed.

The first eigenvectors show a horizontal response in the whole trajectory of distances (Figure 3). Therefore, a selection based on these vectors will produce a positive response in the whole trajectory of distances. The second vectors (not related to the first by definition) show a clear variation over the whole trajectory of distances. These results show that for young horses, 81.8% of the variance between the BV can be explained by one single underlying variable, represented by the coefficients of the eigenvalues shown in Figure 3; whereas this value increases to 95.9% for group 2. On the other hand, eigenvector 2 shows that there are changes in the response trajectory in the analysed population for groups 1 and 2, although the variability is lower than that for eigenvalue 1, mainly for group 2 (4.1%). Thus, the selection based on the first principal component will produce a stable genetic potential in the animals over the whole trajectory of distances. A selection based on the second component will identify the animals with increased genetic performance over the trajectory of distances (i.e. animals with better performance for a specific type of race: sprinters or stayers).

The results show that the analysed trait (TPK) has a common genetic basis over the whole range

of distances, but the effects of genes and race conditions acting together at the race performance at different distances can be considered as a different trait.

Significant differences were shown in the genetic parameters and BV by race distances. The results show that the efficiency of the selection of trotter horses using speed as the main selection criteria depends on the race distance in both young and adult horses and the selection has to be based on the race distance in which the animals are going to participate, because significant differences were observed in the genetic ranking.

These relationships, which differ from unity, allow the identification of animals which undergo major changes during the trajectory of their racing career. The use of RRM for the complete analysis of the data is recommendable in this breed to obtain more efficient genetic estimates in the evaluation of reproducers. This allows the differentiation of the animals with a stable genetic potential from those that are changeable – in other words, the differentiation between sprinters and stayer horses.

#### Acknowledgements

The authors thank the Ministry of Environment and Rural and Marine Affairs and the Breeders' Association (ASTROT) for supporting this study within the Breeding Program of the STH Breeders Association; and the Breeders' Association (ASTROT) and the Official Trotting Federation for the data used in this research.

#### References

- Arnason Th. (2001) Trends and asymptotic limits for racing speed in standardbred trotters. *Livest. Prod. Sci.*, **72**, 135–145.
- Bakhtiari J., Kashan N.E.J. (2009) Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.*, **120**, 151–157.
- Bugislaus A.E., Roche R., Kalm E. (2005a) Comparison of two different statistical models considering individual races or racetracks for evaluation of German trotters. *Livest. Prod. Sci.*, **92**, 69–76.
- Bugislaus A.E., Roche R., Willms F., Kalm E. (2005b) Multivariate genetic analysis to account for preselection and disqualified races in the genetic evaluation of racing performances in German trotters. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.*, **55**, 49–56.
- Bugislaus A.E., Roche R., Willms F., Kalm E. (2006) The use of a random regression model to account for change in racing speed of German trotters with increasing age. *J. Anim. Breed. Genet.*, **123**, 239–246.
- De Jong G. (1995) Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *Am. Nat.*, **145**, 493–512.
- Ekiz B., Kocak O. (2005) Phenotypic and genetic parameter estimates for racing traits of Arabian horses in Turkey. *J. Anim. Breed. Genet.*, **122**, 349–356.
- Gilmour A.R., Cullis B.R., Welham S.J., Thompson R. (2000) ASREML Reference Manual. NSW Agric. Biom. Bull. NSW Agriculture, Locked Bag, Orange, NSW 2800, Australia.
- Gómez M.D., Valera M., Molina A. (2010) Genetic analysis of racing performance of trotter horses in Spain. *Livest. Sci.*, **127**, 197–204.
- Katona O., Distl O. (1989) Sire evaluation in German trotter (standardbred) population. In: B. Langlois, (Ed), State of Breeding Evaluation in Trotters. EAAP Publ. No 42. Wageningen Pers, Wageningen, pp. 55–61.
- Langlois B., Blouin C. (2007) Annual, career or single race records for breeding value estimation in race horses. *Livest. Sci.*, **107**, 132–141.
- Lidauer M.H., Emmerling R., Mantysaari E.A. (2008) Multiplicative random regression model for heterogeneous variance adjustment in genetic evaluation for milk yield in Simmental. *J. Anim. Breed. Genet.*, **125**, 147–159.
- Menendez-Buxadera A.M., Mota M.D.S. (2008) Variance component estimations for race performance of Thoroughbred horses in Brazil by random regression model. *Livest. Sci.*, **117**, 298–307.
- Meyer K. (2004) Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. *Livest. Prod. Sci.*, **86**, 69–83.
- Minkema D. (1975) Studies on the genetics of trotting performance in Dutch trotters. I. The heritability of trotting performance. *Ann. Genet. Sel. Anim.*, **7**, 99.
- Mota M.D.S. (2006) Genetic correlation between performances at different racing distances in Thoroughbreds. *Livest. Sci.*, **104**, 227–232.
- Oki H., Sasaki Y. (1995) Estimation of Genetic Trend in Racing Time of Thoroughbred Horses in Japan. Equine Research Institute, Setagaya-Ku, Tokyo 154.
- Oki H., Sasaki Y., Willham R.L. (1997) Estimation of genetic correlation between racing times recorded at different racing distances by restricted maximum likelihood in Thoroughbred horses. *J. Anim. Breed. Genet.*, **114**, 185–189.
- Pösö J., Ojala M. (1997) Estimates of genetic parameters of trotting performance traits for repeated annual records. *Agric. Food Sci. Finl.*, **6**, 11–18.
- Posta I., Komlósi I., Mihók S. (2009) Breeding value estimation in the Hungarian Sport Horse population. *Vet. J.*, **181**, 19–23.

- Roche R., Savas T., Brka M., Willms F., Kalm E. (2001) Multiple-trait genetic analyses of racing performances of German trotters with disentanglement of genetic and driver effects. *Arch. Tierz.*, **44**, 579–587.
- SAS. 1996. The SAS System for Windows v. 6. 12. SAS Institute Inc, Cary NC 27513, USA. 889 p.
- Sobczynska M. (2006) Genetic correlations between racing performance at different racing distances in Thoroughbreds and Arab horses. *Czech J. Anim. Sci.*, **51**, 523–528.
- Thiruvenkadan A.K., Kandasamy N., Panneerselvam S. (2009) Inheritance of racing performance of trotter horses: an overview. *Livest. Sci.*, **124**, 163–181.
- Thuneberg-Selonen T., Pösö J., Mäntysaari E., Ojala M. (1999) Use of individual race results in the estimation of genetic parameters of trotting performance for Finnhorse and Standardbred trotters. *Agric. Food Sci. Finl.*, **8**, 353–363.

**ARTÍCULO 3. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS GENÉTICOS PARA LAS GANANCIAS ANUALES A DIFERENTES DISTANCIAS DE CARRERA EN CABALLOS TROTADORES JÓVENES Y ADULTOS UTILIZANDO MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA.****TITLE: ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR THE ANNUAL EARNINGS AT DIFFERENT RACE DISTANCES IN OUNG AND ADULT TROTTER HORSES USING A RANDOM REGRESSION MODEL.**Authors: M.D. Gómez, A. Molina, A. Menendez-Buxadera, M. Valera.

Publication: Livestock Science (2010): doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

**Resumen de los resultados**

Las *ganancias anuales* (AE) fueron estimadas para cada caballo a partir de un total de 231609 registros de ganancias individuales, registradas para 4715 *Caballos Trotadores Españoles* que participaron entre 1991 y 2007. Esto produjo un total de 99419 registros. Las AE a las diferentes edades -en animales jóvenes (2-4 años) y adultos (5 o más años)- y a las distintas distancias de carrera (desde 1600 a 2700 m) fueron consideradas como variables diferentes y se aplicó un Modelo de Regresión Aleatoria (RRM) para estimar los componentes de (co)varianza a lo largo de la trayectoria de grupos de edad y distancias. Los siguientes factores fueron considerados como efectos fijos: las combinaciones de hipódromo/año de carrera; el sexo del animal; el tipo de salida; su experiencia en carrera; el efecto del número de carreras recogidas para cada animal; y la regresión fija de los polinomios de Legendre de la distancia en las AE. El número de carreras en el año fue incluido como una covariable en este modelo. El animal (con un total de 10089 animales en el pedigree) y el efecto ambiental permanente del individuo (4715 animales con datos) fueron considerados como aleatorios y fueron modelados utilizando un RRM bivariable con un polinomio de Legendre de primer orden. La heredabilidad estimada por distancia osciló entre 0,08 y 0,10 para los caballos jóvenes y entre 0,10 y 0,14 para los animales adultos. Dentro del mismo grupo de edad, las correlaciones genéticas ( $r_g$ ) entre las diferentes distancias oscilaron entre 0,69 y 0,99. Para la misma distancia, pero entre los rangos de edad, las  $r_g$  oscilaron entre 0,30 y 0,59, lo que significa que los resultados de AE en caballos jóvenes y adultos no representan exactamente las mismas variables. Los cambios en la predicción de las ganancias acumuladas relativas en las diferentes etapas de la vida deportiva de los caballos fueron analizados. Se detectaron diferencias en edad y distancia. Por lo tanto, el uso de RRM está muy recomendado como una herramienta muy útil, porque

permite estimar el valor de cría del animal a lo largo de todas las etapas de su trayectoria en las competiciones deportivas. Esto contrasta con los procedimientos clásicos utilizados para la estimación de los valores de cría, donde todos los resultados de un animal son considerados como la misma variable.



## Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random Regression Model

M.D. Gómez<sup>a,\*</sup>, A. Molina<sup>a</sup>, A. Menendez-Buxadera<sup>a</sup>, M. Valera<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Genetics, University of Cordoba, C.U. Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Cordoba, Spain

<sup>b</sup> Department of Agroforestry Sciences, ETSIA, University of Seville, Ctra. Utrera km 1, 41013 Seville, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 23 March 2010

Received in revised form 7 October 2010

Accepted 8 October 2010

Available online xxx

#### Keywords:

Breeding program  
Equine performance  
Heritability  
Trotter racing  
Selection

### ABSTRACT

From a total of 231,609 records of individual earnings, registered from the racing performances of 4715 Spanish Trotter Horses which took place from 1991 to 2007, the annual earning (AE) was estimated for each horse. This produced a total of 99,419 records. The AE at different stages—both young horses (2 to 4 years old) and adult horses (over 5 years old)—and over different distances (from 1600 to 2700 m) were considered as different traits and a Random Regression Model (RRM) was applied to estimate the (co)variance components throughout the trajectory of the age groups and distances. The following factors were considered as fixed effects: the combinations of hippodrome/year of the race; the sex of the animal; the type of start; its racing experience; the effect of the number of races recorded for each horse; and the fixed regression of Legendre polynomials of distance on the AE. The number of races in the year was included as a covariate on this model. The animal (out of a total of 10,089 animals in the pedigree) and the permanent environment effect of individual (4715 animals with data) were considered as random and were modeled using a bi-variate RRM with a first order Legendre polynomial. The heritability estimated by distance ranged from 0.08 to 0.10 for young horses and from 0.10 to 0.14 in adult animals. Within the same age, the genetic correlations ( $r_g$ ) between different distances ranged from 0.69 to 0.99. For the same distances but across the age ranges, the  $r_g$  ranged from 0.30 to 0.59, which means that the AE results in young and adult horses do not represent exactly the same traits. The changes of the relative accumulated predicted earnings in different stages of the horses' sporting lives were analyzed. Differences were detected in age and distance. Therefore, the use of RRM is highly recommended as a very useful tool, because it allows us to estimate the animal's breeding value through all the stages of its trajectory in racing competitions. This contrasts with the classic procedures used to estimate breeding value, where all the results of each animal are considered as the same traits.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

Independently of each analyzed trait, a horse's racing performance is a composite trait which can be thought of in terms of containing component, contributing traits (Ojala,

1989), and which reflects the horse's capacity to beat other horses with similar abilities (Tolley et al., 1989). The three basic traits available for the breeding evaluation of horses by their race performance are times, earnings and placings (Langlois, 1975). However, the literature we have reviewed shows a number of traits that express trotting ability, based on repeated measures in single races or on several annual summarized traits (Klemetsdal, 1989; Ojala, 1989).

The current genetic evaluations used in most countries are based on a repeatability multivariate BLUP Animal Model

\* Corresponding author. Department of Genetics, University of Cordoba, Campus de Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz, km 396a, 14071 Córdoba, Spain. Tel.: +34 957 21 87 35; fax: +34 957 21 87 07.  
E-mail address: [pottokamdg@gmail.com](mailto:pottokamdg@gmail.com) (M.D. Gómez).

using each horse's competition results (Arnason, 1999 for Sweden; Bugislaus et al., 2005 for Germany; Langlois and Vrijenhoek, 2004 for France; Roehe et al., 2001 for Germany; Gómez et al., 2010 for Spain).

The Spanish Trotter Horse (STH) is an increasingly important breed in Spain (fourth in this country, according to a recent census). Their breeding program includes, as its main breeding goal, the improvement of performance results for national and international trotting races. In the STH, four different traits have been used for this evaluation: a logarithmic transformation of the annual earnings, the square root of the percentage of wins in a year, time per kilometre and best racing time/hippodrome/type of start (Gómez et al., 2010). However, the breeders need further information in order to choose those horses which should be selected as reproducers of the following generation on the basis of their breeding values.

In this work, earnings have been chosen as the selection criteria, because (1) it is a reliable value to manage, (2) it is considered as a credible value by breeders in many countries who use it to estimate performance level and (3) it gives the breeders an idea of the average level of the races for which the horse can be entered (Langlois, 1989a).

Trotter horses can compete in races over different distances during their sporting lives; and they also can compete at different ages, because their career can last a long time (in Spain, they start at 2 years old and continue to 18 years old or more).

In such cases, random regression models (RRM) become a good choice for modelling those traits which are measured repeatedly for each individual, but change gradually and continually in time, due to the improved modelling of variances and genetic parameters (Meyer, 2004).

The estimation of the breeding values of trotters by age also seems to be a very interesting alternative approach, because different genes affect the traits, depending on the animal's age, which changes its physiology and performance (Bugislaus et al., 2006) and because changes in the weighting of estimated breeding values (EBVs) at different ages in the genetic indexes can modify the selection to choose the early or late performance of the animals (Posta et al., 2009).

From the point of view of animal breeding, our interest lies in the genetic parameters that describe how these traits change in time, because they reflect to what extent and how genetic changes in performance patterns over time can be achieved by selection (Huisman et al., 2002), thus providing greater information for breeders to select those horses which should be chosen as sires for the following generation. Similar results were also obtained for the parameter of distance.

There are relatively few papers describing this methodology in horses (Bugislaus et al., 2006; Menendez-Buxadera and Mota, 2008; Posta et al., 2009). Menendez-Buxadera and Mota (2008) affirmed that the activity of race horses occurs over different distances, so it is most appropriate to evaluate their genetic merit by a function of the results over all competition distances, rather than by evaluating a few transversal points. They also affirmed that evaluation by eigenvectors could be used in Thoroughbred horses to identify which horse performs better over one distance than over another.

Menendez-Buxadera and Mota (2008) have applied this methodology in Thoroughbred horses in Brazil, whereas

Posta et al. (2009) have analyzed Hungarian Sport Horses. Bugislaus et al. (2006) have analyzed how the racing speed of German trotters changes with increasing age.

In this study, the genetic parameters of AE in STH by age group and race distance are estimated using RRM. Additionally we have analyzed the changes in the trajectory of accumulated earnings for each horse during their sporting life.

## 2. Materials and methods

The original Spanish Trotting Horse Federation database contained a total of 293,308 race records corresponding to the trotting races held in Spain from 1991 to 2007. For this analysis, mounted races were excluded because they are rare in Spain. Therefore, in all the races, the starting methods were autostart or handicap (harness racing). Less common distances (under 1500 m) and hippodromes with less than 1000 registered records were also excluded. Thus, the final performance database consisted of 231,609 race records from 4715 horses (59.32% males and 40.68% females).

The analysed trait is annual earnings (AE), corrected by the inflation rate. It was selected because at the end of the year, the annual racing results of each horse are summarized by the Spanish Trotting Federation computer center, and this trait reflects a horse's level relative to that of all the horses raced (Ojala, 1989). Therefore, the AE were estimated for each horse and a new data set with 99,419 records was produced. The connectedness of the database was tested in previous analysis, following the methodology described by Thorén et al. (2008). Adequate levels were obtained (Gómez et al., 2010).

Although in strictly statistical sense these are two characters, the results of the dependent variable (AE) at different age ranges (both in young horses from 2 to 4 years old and in adult horses from 5 to 12 years old) and over different distances (from  $t = 1600, 1700, 1800 \dots$  to 2700 m; 12 classes in total, as shown in Table 1) could be considered as "different but correlated traits." This trait had an exponential-like distribution; therefore, the application of logarithmic transformations was made, as recommended Langlois (1983a).

An RRM was applied to estimate the (co)variance components throughout the trajectory of the age groups and distances, by a bi-variate RRM using the software ASREML (Gilmour et al., 2000), that allows us to estimate the (co)variance components throughout the trajectory of the age groups and distances. The following model was applied:

$$y = HY_i + S_j + C_k + D_l + b_{m,p} + \left[ \sum_{r=0}^2 \beta_1 \lambda_{tr} \right]_p + \left[ \sum_{r=0}^1 a_r \lambda_{tr} \right]_p + \sum_{r=0}^1 q_r \lambda_{tr} + e_{ijkmlm}$$

where:  $y$  is the  $n$ th observation of the dependent variable (AE) for each animal, recorded at the  $i$ th combinations of hippodrome/year (101 levels) of the race performed over the range of distances  $t$  ( $t = 12$  levels), of  $j$ th sex (2 levels: male and female), of  $k$ th type of start (2 levels: autostart and handicap), of  $l$ th racing experience of the animal (9 levels) and of  $m$  total number of races in this year (3 levels) as a

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., Livestock Science (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

**Table 1**

Variance-covariance matrix of the additive genetic random regression coefficients for age 1 ( $K_{a1}$ ), age 2 ( $K_{a2}$ ) and the covariance  $K_{a1a2}$  and for individual Permanent Environmental effects at age 1 ( $K_{q1}$ ) and age 2 ( $K_{q2}$ )<sup>a</sup>.

$K_{a1} = \begin{bmatrix} 2.250 & \\ -0.089 & 0.069 \end{bmatrix}$	$K_{a2} = \begin{bmatrix} 1.219 & -0.097 \\ 0.142 & 0.045 \end{bmatrix}$	$K_{a1a2} = \begin{bmatrix} 2.951 & \\ -0.068 & 0.054 \end{bmatrix}$	$K_{q1} = \begin{bmatrix} 1.350 & \\ 0.070 & 0.065 \end{bmatrix}$	$K_{q2} = \begin{bmatrix} 1.160 & \\ 0.067 & 0.039 \end{bmatrix}$
		$K_{q1q2} = 0$		

<sup>a</sup> The residual variance was 5.135 for age 1 and 4.975 for age 2.

covariable within  $p$ th age (2 levels: young and adult horses). Racing experience was included in the model as a combination of the age of the animal in the race and its level of pre-training. The previous training of the horse affects the performance results obtained in the following races, because of an improvement in the physical status of the animal and an increase in race experience. The animals were classified by the number of their previous races, at three different levels of pre-training: A ( $\leq 50$  previous participations), B ( $> 50$  and  $\leq 100$ ) and C ( $> 100$ ).

In this model,  $HY_i$ ,  $S_i$ ,  $C_k$  and  $D_i$ , as well as  $b_{m;p}$  and a regression ( $\beta_i$ ) of the Legendre polynomials (order  $r=2$ ) of  $y$  on distances  $t$ , were considered as fixed effects. The random effects  $a_r$  and  $p_r$  contain the random regression coefficients for the additive animal genetic effect ( $m = 10,089$  animals in the pedigree) and permanent environmental effects ( $n = 4,715$  animals with data). The variables  $\lambda_r = \phi_r(t)$  are the coefficients of the design matrix corresponding to second order Legendre polynomials for the fixed regression effects, and first order for the genetic effects of the animal and for the permanent environment of the animal with repeated data. Finally,  $e$  is a vector of non-correlated random residuals variance—one level for each age.

In this model, it is assumed that  $\text{var}(a) = G = (K_a \otimes A)$  and  $\text{var}(q) = P = (K_q \otimes I_q)$ , where  $A$  is the numerator relationship matrix,  $K_a$  and  $K_q$  are the (co)variance matrix of random regression coefficients for genetic and permanent effects, respectively, and  $I_q$  is an identity matrix. The (co)variance components of AE for each age over the trajectory of  $t$  distances are obtained by applying an additional procedure originally proposed by de Jong (1995):

The genetic components ( $G$ ) at  $t$  distances for young (age 1) and adult (age 2):

$$G = \begin{bmatrix} \Phi_1 K_{a1} \Phi_1' & \Phi_1 K_{a2,1} \Phi_2' \\ \Phi_2 K_{a1,2} \Phi_1' & \Phi_2 K_{a2} \Phi_2' \end{bmatrix}$$

with the same notation for individual permanent environmental ( $P$ )

$$P = \begin{bmatrix} \Phi_1 K_{q1} \Phi_1' & 0 \\ 0 & \Phi_2 K_{q2} \Phi_2' \end{bmatrix}$$

The expressions  $K_{a1}$  and  $K_{a2}$  are genetic matrices of the same order ( $2 \times 2$ ) of random regression coefficients for age = 1 and age = 2, respectively, while  $K_{a2,1}$  and  $K_{a1,2}$  are the corresponding genetic covariance of random regression

coefficients for the same ages also with the same dimension.  $K_{q1}$  and  $K_{q2}$  are matrices of random regression coefficients ( $2 \times 2$ ) of uncorrelated random individual permanent effect in age 1 and age 2 respectively. The Legendre polynomials  $\Phi_1$  and  $\Phi_2$ , for age 1 and age 2 have the same numbers of elements ( $r = 1$  order) and the same  $t = 12$  distance points.

By handling the appropriate elements for  $G_{(24 \times 24)}$  and  $P_{(24 \times 24)}$ , we can obtain the genetic (co)variance components and the environmental variance components along all points of the trajectory of distances  $t$  and ages. The heritability ( $h^2$ ) and the genetic correlation ( $r_g$ ) for AE, within and across the age range for each distance, are computed from these variance-covariance components plus the corresponding residual variance.

The solutions of the model for each animal contain  $r$  genetic random regression coefficients  $r$  for age 1 and age 2, and were used to estimate the breeding values (EBV) for AE, within and across the trajectory of distances. These can be obtained by the expression

$$EBV_t^i = \Phi_r a_i$$

where  $a_i$  is a matrix of  $a \times r$  and  $\Phi_r$  is a matrix of  $r \times t$ . The  $a_i$  represents the solution for animal  $i$  in each age class ( $r_0$  for intercept and  $r_1$  for linear regression coefficient) and  $\Phi_r$  contains the coefficients of Legendre polynomial for each  $t$  distance which are offered as an output file by ASREML.

Once the EBVs were estimated, an analysis of the changes over time of the relative accumulated predicted earnings (RAPE) relating to the average population values in each horse's lifetime was made for each distance and age range (the EBVs were used as an estimator of the differences in the predicted earnings for two animals in the same environmental conditions). The RAPE values were estimated by adding the annual expected earnings up to the reference age for each horse. In this way, a global estimation was made for age groups up to 4-year-old (young), 8-year-old (adult) and 12-year-old (selected) horses, over short (1600), medium (2100) and long (2700) distance races. Finally, a global RAPE value was also estimated in three different stages in the life of the animals, taking into account the average frequency of participation by distance in the analyzed population.

Using the changes in the trajectory of RAPE values, we can obtain an estimate of the horse's future performance for each age group (young, adult and selected) and distance (short, medium and long). These data were evaluated to analyze the changes in the trajectory of earnings for each horse at these three phases of their productive life and the possibility of a precocious selection of the horses for a particular type of race.

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., Livestock Science (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

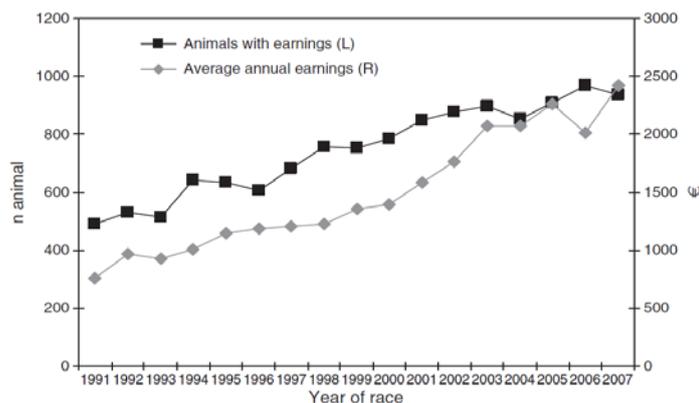


Fig. 1. Graphic representation of the average annual earnings per horse (right axis in euro) and the number animals with annual earnings (left axis).

3. Results

The changes of average annual earnings for all the horses with registered earnings (right axis) and the number of animals with registered earnings by year (left axis) over the period analyzed is shown in Fig. 1. The average number of animals with registered earnings has increased 98.4% between 1991 and 2007. Thus, an increase in the total amount of money distributed per year has produced an increase in the average AE by horse.

The average AE and the average number of animals with earnings by age are shown in Fig. 2. The group of 3-year-old horses had the highest number of animals with earnings, and the group of animals over 9 years old the lowest.

The convergence for the RRM was reached in 10 iterations; however, the initial parameters were changed in order to make sure of the estimated genetic and non-genetic (co)variance components. The results of this second round were the same

and the elements of the random regression matrices are shown in Table 1.

These matrices and the corresponding Legendre polynomial coefficients were dealt with following the procedure of Jamrozik and Schaeffer (1997) and the genetic parameters were estimated. The graphical representation of the trajectory of the estimated genetic parameters (variance and covariance components and heritability values) for AE depending on the race distance is shown in Fig. 3, grouped by age group (young and adult horses). The estimated heritabilities for age group 1 ranged between 0.08 and 0.10, whereas the values for group 2 were slightly higher, ranging between 0.10 and 0.14. For both groups, the longer the distance analyzed, the higher the heritability values obtained ( $h^2 = 0.10$  and  $0.14$  for groups 1 and 2 at 2700 m, respectively).

The graphical representation of the trajectory of the estimated genetic parameters (variance and covariance components and heritability values) for AE depending on the race

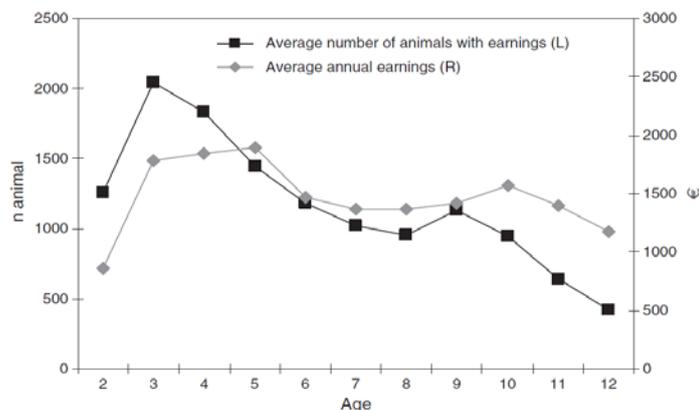


Fig. 2. Changes of the average annual earnings (right axis in euro) and the average number of animals with earnings (left axis) depending on the horses' age.

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., Livestock Science (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

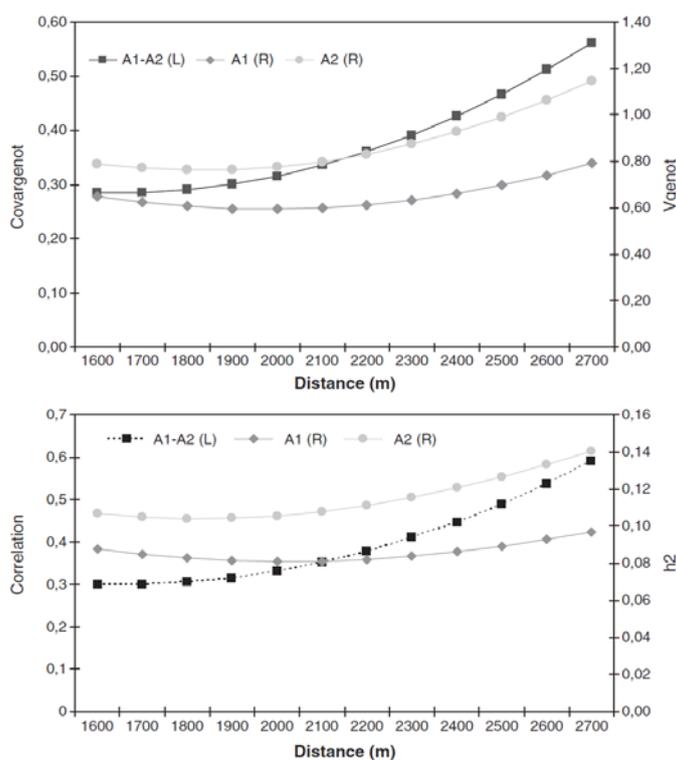


Fig. 3. Variance (vgenot) and covariance (covargenot) components, correlation and heritability values ( $h^2$ ) for annual earnings along race distance grouping by age-group of trotters in Spanish Trotter horses, estimated using Random Regression Models. Where: A1 is age group 1, A2 is age group 2 and A1-A2 is the correlation of the covariance between both age groups.

distance is shown in Fig. 3, grouped by age group (young and adult horses). The estimated heritabilities for age group 1 ranged between 0.08 and 0.10, whereas the values for group 2 were slightly higher, ranging between 0.10 and 0.14. For both groups, the longer the distance analyzed, the higher the

heritability values obtained ( $h^2 = 0.10$  and  $0.14$  for group 1 and 2 at 2700 m, respectively).

The genetic correlations between both age groups at different distances produced medium to high values, ranging between 0.30 and 0.59. The lowest correlation value was

**Table 2**  
Genetic correlations between the earning trait at different distances according to the age group (group 1 (2–4 years old) above the diagonal and group 2 (>5 years old) below the diagonal) in Spanish Trotter horses.

Distance	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700
1600		0.997	0.988	0.973	0.952	0.925	0.892	0.855	0.815	0.772	0.729	0.685
1700	0.997		0.997	0.988	0.972	0.951	0.923	0.892	0.856	0.818	0.778	0.737
1800	0.987	0.997		0.997	0.987	0.972	0.950	0.924	0.893	0.860	0.824	0.787
1900	0.971	0.987	0.997		0.997	0.987	0.972	0.951	0.926	0.897	0.866	0.834
2000	0.948	0.970	0.987	0.997		0.997	0.988	0.973	0.953	0.930	0.903	0.875
2100	0.920	0.948	0.971	0.987	0.997		0.997	0.988	0.974	0.956	0.934	0.911
2200	0.887	0.921	0.950	0.972	0.988	0.997		0.997	0.989	0.976	0.959	0.940
2300	0.851	0.890	0.924	0.952	0.974	0.989	0.997		0.997	0.990	0.978	0.963
2400	0.812	0.856	0.895	0.929	0.956	0.976	0.990	0.998		0.998	0.991	0.980
2500	0.772	0.821	0.865	0.903	0.935	0.960	0.978	0.991	0.998		0.998	0.998
2600	0.732	0.784	0.832	0.875	0.911	0.941	0.964	0.981	0.992	0.998		0.998
2700	0.693	0.748	0.800	0.846	0.887	0.920	0.948	0.968	0.983	0.993	0.998	

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., Livestock Science (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

obtained for the shortest distance (1600 m), and the highest value for the longest distance (2700 m).

The genetic correlations between *AE* by race distances (Table 2) for age group 1 (above the diagonal) and 2 (below the diagonal) ranged between 0.69 and 0.99 for both groups. As was expected, the higher correlation values were obtained between the adjacent distances (near to unity) and the lower ones between the more separate distances included in this analysis.

#### 4. Discussion

The importance of trotting races in Spain has increased over the last few years, because of the policies of the Breeders Association of Spanish Trotter Horses (ASTROT) and the Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs. This fact, added to the higher inflation rate, has led to an increase in the annual sums of money distributed in trotting races and the prizes in Spain (Fig. 1). The distribution is made according to the breeding criteria of this breed. In this sense, the highest annual prizes were obtained in the earlier stages of the animal's sporting life (3–4 years old, selected on the basis of precocious sporting ability). The lowest annual prizes were obtained in the precocious stages of the animal's sporting life (2 years old, because of the lower number of races) and the later stages (11 or more years old, including a lower number of animals with registered earnings and a lower quantity of prizes).

The use of earnings as ranking criteria in race horse breeding was first proposed by Estes (1948). This approach was based on individual average earnings per year corrected multiplicatively for inflationary factors, due to variations in the number of horses raced and the total budget offered each year.

Traditionally, authors suggest that financial earnings are a logical measure of racing performance for trotter horses (Katona, 1979; Langlois, 1983b, 1984a,b, 1989a,b; Saastamoinen and Nylander, 1996), because in many studies, the heritability of earnings is moderate and is sufficient to facilitate the selection process. Langlois (1989a,b) held that earnings are the best selection criteria because they take into account the potential, regularity and sporting longevity of the horse. Therefore, the choice of an earnings-related selection trait is preferred over a chronometric trait (Langlois, 1984a), but the most important factor is the breeders' main objective, which is primarily to breed a trotter horse that is capable of earning a lot of money (Langlois and Vrijenhoek, 2004). Furthermore, Langlois and Blouin (2008) reported that the estimation of breeding values in trotter horses was not biased by the selection of only high-earning horses, because most of the starting horses (89%) were earning some money. Therefore, they concluded that correction of the selection bias expected from the introduction of none or all of the variables in the estimation of breeding value in Trotters is probably not as important as was previously thought. Similar values were obtained in STH (86.7%).

In this paper, *AE* was chosen as selection criteria because it is a summarized trait that combines regularity, longevity and level of races won, all of which are included in the value (Bowling and Ruvinsky, 2000).

The heritability values obtained for the *AE* in the STH population (0.081 to 0.097, average 0.086 for age-group 1; and

0.104 to 0.140, average 0.115 for age group 2, with s.e. ranging from 0.021 to 0.022 for age group 1, and from 0.022 to 0.025 for age group 2; see Fig. 3) were slightly lower than those reported in the reviewed bibliography for other trotter horses (0.14–0.27 in German Trotters—Katona and Distl (1989), 0.15–0.25 in Norwegian Trotters—Klemetsdal (1989)–, 0.22–0.36 in Swedish Trotters—Arnason et al. (1989)) and the value obtained in the same population using BLUP Animal model methodology was 0.35 (Gómez et al., 2010). Most classic papers assume that the heritability is the same over the whole trajectory of distances, and most of the RRM papers assume that it is the same over the whole trajectory of ages. In this work, part of the covariance between the same trait at two ages is included in the estimates, and therefore, the bias caused by the covariance is eliminated: for this reason, the values are comparable.

Besides, in the classic models (repeatability models), part of the variance between repeated measures is included in the additive variance, which increases the heritability values, whereas in RRM, this bias is eliminated. Because of this, heritability levels in the classic models are usually higher (they are overestimated in comparison with the estimates using RRM).

The genetic correlations obtained between the *AE* at different distances ranged from 0.69 to 0.99 for both age groups (Table 2). As was expected, these values have shown that the greater the differences between distances, the lower the estimate of genetic correlations. Therefore, we can affirm that the effects of genes acting together on earning traits at different distances can be considered to be high. These results were similar to those reported previously by other authors for the same or related traits (Bakhtiari and Kashan, 2009; Langlois, 1984b; Leroy et al., 1989; Mota, 2006; Ojala et al., 1987; Oki et al., 1997; Sobczynska, 2006; Thiruvengadan et al., 2009).

The genetic correlations between age groups 1 and 2 over individual race distances were of a medium to high magnitude (from 0.30 to 0.59), as shown in Fig. 3. The results obtained are related to a longitudinal analysis, in the sense that the general trends are the same as those published with the classic longitudinal parameters obtained with monthly records in dairy cattle (Lidauer et al., 2008), in which the genetic relationships are positive—and less than one—between the controls in the first, second or third lactations.

Fig. 4 shows the graphic representation of EBVs for two animals (identified as 3419 and 860 in the pedigree file) by distance and age group. The differences observed over the trajectory of distances are very important in the genetic selection of reproducers, because they ensure the correct selection of the animals according to the breeding objectives. The previous methodologies applied in this breed did not inform the breeders about these changes in the trajectory, and therefore, the selection procedure could be biased. Animal 3419 has a greater breeding value than animal 860, and this is consistently true distance for both age groups. Therefore, this animal will be able to obtain better and more consistent results during its whole sporting life. Animal 860 shown differences in the trajectory across age groups and distances. Its performance when young could be homogeneous by distance, but in the adult stage, its performance is better over longer distances.

An analysis of the changes in the trajectory of relative accumulated predicted earnings (RAPE) values, relating to

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., *Livestock Science* (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

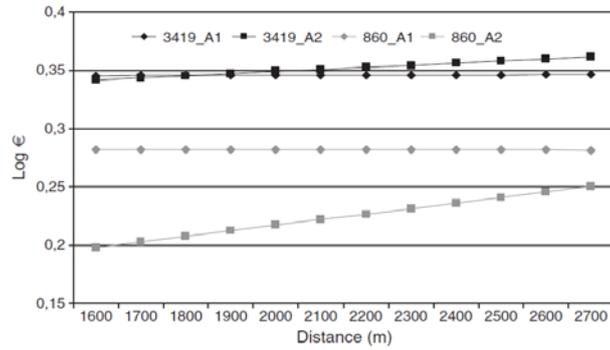


Fig. 4. Graphic representation of breeding values for two Spanish Trotter Horses by distance (m) and age group. Where: A1 is age group 1 and A2 is agegroup 2. 3419 and 860 are the horse's identification numbers. The accuracies of the breeding values for animal 3419 ranged from 0.16 to 0.48 for age group 1 and from 0.15 to 0.44 for age group 2; and for animal 860, they ranged from 0.20 to 0.51 for age group 1 and from 0.16 to 0.48 for age group 2.

the average population values in the lifetime of each horse in its sporting life, is shown in Fig. 5 for three animals (whose identification numbers in the pedigree file are 64 (a), 69 (b) and 229 (c), respectively). The differences in the trajectory of the estimated earnings curves throughout their sporting life by distance and age are shown in all the graphical representations.

Fig. 5a shows the trajectories of a well-balanced animal, which presents a homogeneous changes in the trajectory of RAPE values over the three distances, although it shows a

better RAPE value over short races. Fig. 5b shows the trajectories of an animal with similar RAPE values at 4 years old over the three distances, but whose RAPE values increase with age and distance (higher RAPE values at 12 years old over long distance races) —in other words, its performance was better in long races. Finally, Fig. 5c shows the trajectories of a heterogeneous animal. Although it seems to perform better over long races at 4 years old, the best results at the age of 12 are obtained in short races. The specific graphs and the global values of the animals show that RRM allows us to

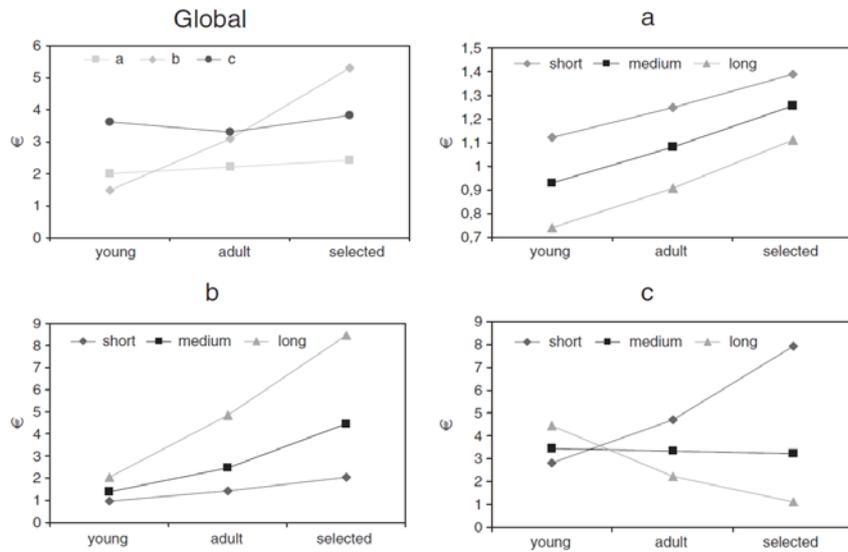


Fig. 5. Analysis of the changes in the trajectory of the relative accumulative predicted earnings over the sporting life for each age group (4 years old = young, 8 = adult and 12 = selected) by race distance (short = 1600 m, medium = 2100 m and long = 2700 m) for three animals included in the pedigree (a = animal identification 64, b = animal identification 69 and c = animal identification 229) and the global average value for each animal.

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., Livestock Science (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

differentiate between the performance of the animals by age and distance. The best animals can be identified for each selection criteria (precocious/long sporting life and short/long races), in order to be selected for their breeding value and included in the mating programme.

The efficiency of RRM for the breeding evaluation of horses is clearly shown. The differences in the trajectory of the curves for race distance and age group can be seen. A selection based only on EBV, estimated for the horse by age, can bias the results obtained, because the differences between age groups are not included. Therefore, we can affirm that the use of RRM methodology would improve the selection process and favour genetic progress in the population.

## References

- Arnason, T., 1999. Genetic evaluation of Swedish standardbred trotters for racing performance traits and racing status. *J. Anim. Breed. Genet.* 116, 387–398.
- Arnason, T., Bendroth, M., Philipsson, J., Hendriksson, K., Darenius, A., 1989. Genetic evaluation of Swedish trotters. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 106–130.
- Bakhtiari, J., Kashan, N.E.J., 2009. Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 120 (1–2), 151–157.
- Bowling, A.T., Ruvinsky, A., 2000. *The genetics of the horse*. Ed. Cabi Publishing, UK.
- Bugislaus, A.E., Roehe, R., Kalm, E., 2005. Comparison of two different statistical models considering individual races or racetracks for evaluation of German trotters. *Livest. Prod. Sci.* 92 (1), 69–76.
- Bugislaus, A.E., Roehe, R., Willms, F., Kalm, E., 2006. The use of a random regression model to account for change in racing speed of German trotters with increasing age. *J. Anim. Breed. Genet.* 123, 239–246.
- De Jong, G., 1995. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *Am. Nat.* 145 (4), 493–512.
- Estes, A., 1948. Statistics on prominent sires, adjusted for the changing dollar. *Blood Horse* 52, 470 (Cited by Wright, 1989).
- Gilmour, A.R., Cullis, B.R., Welham, S.J., Thompson, R., 2000. *ASREML Reference Manual*. NSW Agric. Biom. Bull. NSW Agriculture, Locked Bag, Orange, NSW 2800, Australia.
- Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., 2010. Genetic analysis of racing performance of trotter horses in Spain. *Livest. Sci.* 127 (2–3), 197–204.
- Huisman, A.E., Veerkamp, R.F., van Arendonk, J.A., 2002. Genetic parameters for various random regression models to describe the weight data of pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 575–582.
- Jamrozik, J.L., Schaeffer, L.R., 1997. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regression for production of first lactation. *J. Dairy Sci.* 80, 762–770.
- Katona, O., 1979. Genetical–statistical analysis of traits in the German Trotter. *Livest. Prod. Sci.* 6, 407–412.
- Katona, O., Distl, O., 1989. Sire evaluation in German trotter (standardbred) population. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 55–61.
- Klemetsdal, G., 1989. Norwegian trotter breeding and estimation of breeding values. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 95–105.
- Langlois, B., 1975. Analyse statistique et génétique des gains des Pur Sang anglais de trois ans dans les courses plates françaises. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 7, 387–408.
- Langlois, B., 1983a. Genetic problems in horse breeding. *Livest. Prod. Sci.* 10 (1), 69–81.
- Langlois, B., 1983b. Quelques réflexions au sujet de l'utilisation du gain pour apprécier les performances des chevaux Trotteurs. Paper Presented at the 34th Annual Meeting of the EAAP, 3–6 October 1983, Madrid, Spain. 17 pp + Annexure.
- Langlois, B., 1984a. L'heritabilité des performances chez le trotteur. Une revue bibliographique. In: Jarrige, R., Martin-Rosset, W. (Eds.), *Le cheval. Reproduction, sélection, alimentation, exploitation*. INRA, Paris, pp. 409–422.
- Langlois, 1984b. Analyse statistique et génétique des temps de course des trotteurs français. 34 Reunión Annuelle de la Federation Europeenne de Zootechnie, Madrid, Spain.
- Langlois, B., 1989b. State of Breeding Evaluation in Trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988, vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen. 141 pp.
- Langlois, B., 1989a. 1989b. Breeding evaluation of French trotters according to their race earnings. 1. Present situation. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 27–40.
- Langlois, B., Blouin, C., 2008. How the study of the number of starts and the starting status can inform about selection bias when using earnings for breeding evaluations in race horses. 59th Annual Meeting of the EAAP, Session H36-4 Vilnius Lithuania, August 27th 2008. 12 pp.
- Langlois, B., Vrijenhoek, T., 2004. Qualification status and estimation of breeding value in French Trotter. *Livest. Prod. Sci.* 89, 187–194.
- Leroy, P.L., Kafdi, N., Bassleer, E., 1989. Estimation of breeding values of Belgian trotters using an animal model. *State of Breeding evaluation in trotters*. Proceedings of the EAAP-symposium of the Commission on horse production, Helsinki, Finland. Pudoc Wageningen.
- Lidauer, M.H., Emmerling, R., Mantysaari, E.A., 2008. Multiplicative random regression model for heterogeneous variance adjustment in genetic evaluation for milk yield in Simmental. *J. Anim. Breed. Genet.* 125 (3), 147–159.
- Menendez-Buxadera, A.M., Mota, M.D.S., 2008. Variance component estimations for race performance of Thoroughbred horses in Brazil by random regression model. *Livest. Sci.* 117 (2–3), 298–307.
- Meyer, K., 2004. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. *Livest. Prod. Sci.* 86, 69–83.
- Mota, M.D.S., 2006. Genetic correlation between performances at different racing distances in Thoroughbreds. *Livest. Sci.* 104, 227–232.
- Ojala, M., 1989. Breeding evaluation of trotters in Finland. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 18–26.
- Ojala, M., Van Vleck, L.D., Quaas, R.L., 1987. Factors influencing best annual racing time in Finnish trotters. *J. Anim. Sci.* 64, 109–116.
- Oki, H., Sasaki, Y., Willham, R.L., 1997. Estimation of genetic correlation between racing times recorded at different racing distances by restricted maximum likelihood in Thoroughbred horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 114, 185–189.
- Posta, I., Komlósi, I., Mihók, S., 2009. Breeding value estimation in the Hungarian Sport Horse population. *Vet. J.* 181, 19–23.
- Roehe, R., Savas, T., Brka, M., Willms, F., Kalm, E., 2001. Multiple-trait genetic analyses of racing performances of German trotters with disentanglement of genetic and driver effects. *Arch. Tierz.* 44, 579–587.
- Saastamoinen, M.T., Nylander, A., 1996. Genetic and phenotypic parameters for age at starting to race and racing performance during early career in trotters. *Livest. Prod. Sci.* 45, 63–68.
- Sobczynska, M., 2006. Genetic correlations between racing performance at different racing distances in Thoroughbreds and Arab horses. *Czech J. Anim. Sci.* 51 (12), 523–528.
- Thiruvankadan, A.K., Kandasamy, N., Panneerselvam, S., 2009. Inheritance of racing performance of trotter horses: an overview. *Livest. Sci.* 124, 163–181.
- Thorén, E., Jorjani, H., Philipsson, J., 2008. Connectedness among five European sport horse populations. *Livest. Sci.* 118 (1–2), 147–156.
- Tolley, E.A., Notter, D.R., Marlowe, T.J., 1989. The environmental effects of pace of race and purse for 2- and 3-year-old standardbred trotters. In: Langlois, B. (Ed.), *State of Breeding Evaluation in Trotters*, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 131–141.

Please cite this article as: Gómez, M.D., et al., Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random..., *Livestock Science* (2010), doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004

## ARTÍCULO 4. EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RENDIMIENTO EN CARRERAS EN CABALLOS TROTADORES UTILIZANDO MODELOS DE COMPETENCIA

**TITLE: GENETIC EVALUATION OF RACING PERFORMANCE IN TROTTER HORSES BY COMPETITIVE MODELS**

Authors: M.D. Gómez, L. Varona, A. Molina, M. Valera

Publication: Livestock Science (submitted)

### Resumen de los resultados

Se han utilizado un total de 255538 controles de rendimiento, recogido desde 1991 a 2007, en las competiciones de Caballos de Trote Español para incluir y evaluar la información del nivel de competición en carrera utilizando un modelo Thurstoniano. El modelo utilizado incluye: sexo (2 clases), edad (3) y carrera (3920) como efectos sistemáticos; y entrenador-conductor, ambiente permanente y efectos genéticos como efectos aleatorios. El fichero de pedigrí incluye 10940 animales. También se ha utilizado una metodología BLUP para comparar los resultados obtenidos con la misma variable y variables similares.

El nivel de heredabilidad obtenido con la metodología Thurstoniana es de 0,09, estando dentro del rango establecido por los valores reseñados en la bibliografía consultada para las variables de clasificación en caballos, y siendo similar a los valores obtenidos para la misma variable analizada con el mismo modelo y la misma base de datos utilizando una metodología BLUP (0,05).

El efecto entrenador-conductor representa el 26% de la variabilidad total, siendo similar a los resultados obtenidos para el efecto jinete en otras disciplinas ecuestres. Los machos son 0,15 desviaciones estándar mejores que las hembras. Y los animales jóvenes son 0,24 desviaciones estándar mejores que los animales de edad media, y 0,59 desviaciones estándar mejores que los animales adultos.

También se han evidenciado diferencias en la clasificación genética de los animales en función de su valor de cría utilizando el porcentaje de coincidencia para los animales incluidos en el percentil 20% superior e inferior, y para los animales élite (5% superior) en función de su clasificación genética. Los mayores porcentajes de coincidencia se han obtenido al comparar la misma variable analizada con el mismo modelo y la misma base de datos utilizando una metodología BLUP (oscilando entre 89,39% y 92,81% para los animales élite y el percentil 20% inferior, respectivamente).

Por lo tanto, la aplicación práctica de un modelo Thurstoniano ha mostrado resultados adecuados. Esto nos permite la comparación entre la variable subyacente sin el efecto del

nivel de la carrera, dando estimaciones más adecuadas para los parámetros genéticos y los valores de cría en la población.

La inclusión del efecto carrera en el modelo es también importante, porque en el ámbito de las metodologías modelo animal mixto, la información para los valores de cría y el efecto ambiental permanente procede de múltiples carreras con adecuadas conexiones genéticas, aunque las competiciones suelen estar estructuradas en categorías en función del nivel técnico de dificultad relacionadas con la capacidad técnica de rendir de los animales.

1           **GENETIC EVALUATION OF RACING PERFORMANCE IN TROTTER**  
2                           **HORSES BY COMPETITIVE MODELS**

3

4                           Gómez, M.D.<sup>1\*</sup>; Varona, L.<sup>2</sup>; Molina, A.<sup>1</sup>; Valera, M.<sup>3</sup>

5

6           <sup>1</sup>Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. C. U. Rabanales, Ctra. Madrid-  
7           Cádiz, Km. 396a, 14071 Córdoba, Spain.

8           <sup>2</sup>Unidad de Genética Cuantitativa y Mejora Animal. Departamento de Anatomía,  
9           Embriología y Genética. Universidad de Zaragoza, 50013 Zaragoza, Spain.

10          <sup>3</sup>Departamento de Ciencias Agro-forestales, ETSIA, Universidad de Sevilla, Ctra.  
11          Utrera Km. 1, 41013 Sevilla, Spain

12

13

14          \*Corresponding author:

15          M<sup>a</sup> Dolores Gómez Ortiz

16          Postal Address: Department of Genetics. University of Córdoba.

17                           Campus de Rabanales. Ctra. Madrid-Cádiz, Km. 396a

18                           14071 Córdoba. Spain.

19          E-mail: pottokamdg@gmail.com

20          Tel.: +34.957.21.87.35; Fax: +34.957.21.87.07.

**21 ABSTRACT**

22 A total of 255,538 performance records in competitions with Spanish Trotter Horses,  
23 collected from 1991 to 2007, were used to include and evaluate competitive information  
24 using the Thurstonian model. The model analysis included: sex (2 classes), age (3) and  
25 race (3920) as systematic effects; and trainer-driver, permanent environment and  
26 genetic effects as random effects. The pedigree file included 10,940 animals. BLUP  
27 methodology was also used to compare the results obtained with the same and similar  
28 traits.

29 The heritability obtained was 0.09, which is within the range of the values reported in  
30 the reviewed literature for ranking traits in horses, and similar to the value obtained for  
31 the same trait with the same model and the same database using a BLUP methodology  
32 (0.05).

33 The trainer-driver effect had a total variability of 26%, similar to the effect of the rider  
34 in other equestrian disciplines. Males were 0.15 better than females in standard  
35 deviations, and young animals were 0.24 better than middle-aged animals and 0.59  
36 better than the older animals in standard deviations.

37 The differences in the animals' genetic ranking by their breeding values are also shown  
38 using the percentage of coincidence for the top and bottom 20% of the animals in the  
39 genetic ranking, and elite horses (top 5%). Higher values were obtained in the  
40 comparison with the same trait, the same model and the same database using BLUP  
41 methodology (ranging between 89.39% and 92.81% for the top 5% and bottom 20%,  
42 respectively).

43 The practical application of this model has therefore shown adequate results. It allows  
44 us to compare between the underlying variable without the effect of race level, and

45 produces more suitable estimations for genetic parameters and breeding values in the  
46 population.

47 The inclusion of the race effect in the model is also important, because with a mixed  
48 animal model approach, the information for breeding values and permanent  
49 environmental effect comes from several races with sufficient genetic connectedness,  
50 although competitions are usually structured into categories according to the technical  
51 level of difficulty linked to the technical ability of the horses' performance.

52

53 **KEYWORDS:** Breeding value, Competition, Equine, Heritability, Thurstonian model.

54 **INTRODUCTION**

55

56 Trotting races are among the most popular horse sports all around the world, and are the  
57 second most popular race after speed races (Thiruvankadan et al., 2009). It is a form of  
58 harness racing where the horse pulls a driver in a light, two-wheeled sulky; and Trotters  
59 move with a diagonal gait: the left front and the right hind legs move in unison, as do  
60 the right front and the left hind legs, without breaking into a canter or a gallop during  
61 the race (Burns et al., 2004). It is most popular in Canada, Iceland, Norway, Sweden,  
62 Finland, Russia, USA, France, The Netherlands, Belgium, Germany, Italy and some  
63 central European countries (Thiruvankadan et al., 2009).

64 In Spain, its importance has been increasing over the last few years because of the  
65 promotion and support from the Ministry of the Environment and Rural and Marine  
66 Affairs and the Spanish Breeders Trotter Horse Association (ASTROT), although these  
67 races date back to the beginning of the 20<sup>th</sup> century. These kinds of races are mainly  
68 held in the Balearic Islands, with around 1,500 horse races held annually at 11 different  
69 racetracks, with the participation of over 4,500 different horses (Gómez et al., 2010a).  
70 Breeds specialized for trotting races are indigenous to many countries (Thiruvankadan  
71 et al., 2009), but only the animals registered as Trotter horses in a stud-book are allowed  
72 to compete in trotting races, although no differences were found between the different  
73 genetic lines by their country of origin in this breed (Azor et al., 2007).

74 The current genetic evaluation for the Spanish Trotter Horse (STH) is based on a  
75 repeatability multivariate BLUP Animal Model using competition results, as in other  
76 European countries, (Arnason, 1999 for Iceland; Bugislaus et al., 2005 for Germany;  
77 Gómez et al., 2010a for Spain; Langlois and Vrijenhoek, 2004 for France ; Röhe et al.,  
78 2001 for Germany). Logarithmic transformation of annual earnings, the square root of

4

79 the percentage of the first placing in a year, time per kilometre and best racing time/  
80 hippodrome/ type of start are included as selection criteria in their breeding programme  
81 (Gómez et al., 2010a). However, the animals' breeding value (BV) obtained is related to  
82 the population mean. Random Regression models have also been tested by age and race  
83 distance in order to obtain more complete information about the animals' trajectory, for  
84 annual earnings and racing speed (time per kilometre) and positive results were obtained  
85 (Gómez et al., 2010 b, c).

86 In the analysis of the horses' performance, ranking is used as a measure of performance,  
87 because it allows for direct comparison between events held in different countries and  
88 between the horses participating in the same event and other horses participating in  
89 other events (Bokor et al., 2005). Besides race performance, ranking traits reflect a  
90 horse's temperament in the competition and its spirit and willingness to win  
91 (Thiruvnkadan et al., 2009). However, as affirmed by Ricard and Legarra (2010), it is  
92 tricky to analyze this trait and ranking transformations have become the most frequent  
93 criteria used in Europe to evaluate breeding value in sport horses.

94 In addition, competitions are structured into categories according to the technical level  
95 of difficulty linked to the technical ability of the horses' performance (Ricard and  
96 Legarra, 2010), and the heterogeneity in the quality of competitors may produce  
97 substantial biases in genetic evaluation.

98 In this paper, a Thurstonian model was used in order to include and evaluate the  
99 competitive information (level of the race and level of one ranking in this race) in the  
100 performance results used for the genetic evaluation of horses, following Gianola and  
101 Simianer (2006). Thus, the main aim is to evaluate the application of a Thurstonian  
102 model for genetic analysis of rankings to analyze the performance of the horses, using

103 the STH performance database as an example, as well as to compare this model with the  
104 previously analyzed models for the same breed using BLUP methodology.

105

## 106 **MATERIAL AND METHODS**

107

108 The racing records from STH competitions were collected from the Official Trotting  
109 Federation database in Spain. The performance database consisted of 255,538  
110 performance records (63.7% for males and 36.3% for females) collected from 1991 to  
111 2007. The genetic connectedness for the database was previously tested and satisfactory  
112 results were obtained (Gómez et al., 2010a). Young animals were excluded, and  
113 therefore only 5-year-old animals or older were included in the analysis, grouped into  
114 three classes.

115 The pedigree file to calculate the inverse of the relationship matrix was generated from  
116 this breed's ASTROT Studbook and was created by including all the ancestors of the  
117 recorded animals up to at least the fourth generation, thus giving a total of 10,940  
118 animals. Although it is a relatively recent Studbook (started in 1979), the number of  
119 horses registered is high because the animals imported for breeding were registered with  
120 all their pedigree information obtained from the Studbook of origin until the third  
121 known generation.

122 A Thurstonian model for genetic analysis of rankings was used to analyze the STH's  
123 performance. This model assumed an underlying variable that is transformed here via a  
124 data augmentation step within a Gibbs Sampler for the animals' ranking in the  
125 competition. This underlying variable was assigned to be zero for the winner of each  
126 race, with a lower value than the first given to the second horse in the classification, a  
127 lower value than the second given to the third, and so on, right up to the last one in the

128 classification. This model allows us to fix the “race effect”, including a correction of the  
 129 predicted breeding values by the quality of the animals competing in a race (level of the  
 130 horses that participate in the same race). The model of analysis includes sex (2 classes:  
 131 males and females), age (3 classes: 5-8 years old, 9-10 years old and over 10 years old)  
 132 and race (3920 classes) as systematic effects, and trainer-driver, horse permanent and  
 133 genetic effects as random effects.

134 The statistical analysis was performed with a Bayesian approach for Thurstonian  
 135 models suggested by Gianola and Simianer (2006). Following these models, the joint  
 136 posterior density was:

$$p(\mathbf{l}, \mathbf{b}, \mathbf{a}, \mathbf{j}, \mathbf{p}, \sigma_a^2, \sigma_j^2, \sigma_p^2 | \mathbf{I}, \delta, H) \propto \prod_{k=1}^K \left\{ \prod_{j=1}^J [N(l_{jk} | \mu_{jk}, 1)^{\delta_{jk}} I_k] \right\} N(\mathbf{a} | \mathbf{0}, \mathbf{A} \sigma_a^2)$$

$$N(\mathbf{j} | \mathbf{0}, \mathbf{I} \sigma_j^2) N(\mathbf{p} | \mathbf{0}, \mathbf{I} \sigma_p^2) \prod_{i=a,j,p} p(\sigma_i^2 | v_i, S_i^2)$$

137

138 where  $\mathbf{l}$  is the vector of liabilities,  $\mathbf{b}$  is the vector of systematic effects (sex, age and  
 139 race),  $\mathbf{a}$  is the vector of additive breeding values,  $\mathbf{j}$  is the vector of trainer-driver effects

140 and  $\mathbf{p}$  is the permanent horse effects. Moreover,  $\sigma_a^2$ ,  $\sigma_j^2$  and  $\sigma_p^2$  are the additive

141 genetics, trainer-driver and permanent horse variances and  $H = \{v_a, S_a^2, v_a, S_a^2, v_a, S_a^2\}$  is

142 the vector of hyper-parameters for variance components. In addition,  $\mathbf{I}$  is the matrix of

143 indicator sets  $\mathbf{I}_k$  that denotes the order of liabilities, or ranking, observed in competition

144  $k$  and  $\delta = \{\delta_{jk}\}$  is the vector of indicator variables that takes 1 or 0 depending on the

145 presence of  $j$  horse on the  $k$  competition.

146 The analysis was performed using a Gibbs sampler approach with a data augmentation

147 approach for the liabilities. Given the liabilities, the conditional sampling of each level

148 of  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{j}$  and  $\mathbf{p}$  was univariate Gaussian and the conditional distribution of  $\sigma_a^2$ ,  $\sigma_j^2$  and

149  $\sigma_p^2$  was univariate inverted chi-squared. Thus, the key step for the implementation was

7

150 the conditional sampling of liabilities from the predictive distributions. The conditional  
 151 predictive distributions for the liabilities of competition  $k$  are proportional to:

$$152 \quad p(l_k | ELSE) \propto \prod_{j=1}^J \left[ N(l_{jk} | \mu_{jk}, 1) \right]^{I_k}$$

153 where ELSE denotes the unknown liabilities at all other competition events and  
 154 systematic, additive genetic, trainer-driver and permanent horse effects; thus, within  
 155 event  $k$ , the liabilities are not independent, because the sample space is restricted by the  
 156 knowledge of the ranking, represented by  $\mathbf{I}_k$ . The conditional sampling of liabilities is  
 157 performed sequentially.

158 In Trotter horses' competitions, traditionally only top-placed horses are taken into  
 159 account when ranking data are used in the genetic evaluation - for example, total  
 160 number of races placed 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> (Arnason, 1999; Dolvik and Klemetsdal, 1999),  
 161 percentage of first placings relative to all starts in a year (Ojala, 1989), percentage of  
 162 placings 1-4 (Langlois and Vrijenhoek, 2004), or percentage of first placings in a year  
 163 (Gómez et al., 2010a). Therefore, in this analysis, we have considered only top-placed  
 164 horses (1<sup>st</sup> to 4<sup>th</sup>) in the analysis, as illustrated in Table 1.

165 Firstly, the liability of the competition winner, *horse 874*, was set to 0. Later, we took a  
 166 sample from the conditional predictive distribution for the liability of *horse 984* by  
 167 using the following truncated Gaussian distribution:

$$168 \quad l_{984(k)} \sim TN_{(l_{874(k)}, l_{12(k-1)})}(\mu_{984}, 1)$$

169 where  $\mu_i = \mathbf{x}_i \mathbf{b} + \mathbf{z}_i \mathbf{u} + \mathbf{w}_i \mathbf{j} + \mathbf{q}_i \mathbf{p}$  and  $\mathbf{x}_i, \mathbf{z}_i, \mathbf{w}_i, \mathbf{q}_i$  are the vector of incidence matrices  
 170 ( $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{W}$  and  $\mathbf{Q}$ ) for the  $i$ th data that related the liabilities with systematic ( $\mathbf{b}$ ), additive  
 171 genetic ( $\mathbf{a}$ ), trainer-driver ( $\mathbf{j}$ ) and permanent environmental effects ( $\mathbf{p}$ ), respectively.

172 The limits for the truncation of the Gaussian distribution were the liability of the  
 173 preceding horse (*horse 874*) and the liability of the horse classified just after it (*horse*

174 12) on the previous iteration of the Gibbs sampler. Sequentially, sampling from the  
 175 liability of the third-placed horse in the competition (*horse 12*) was performed using:

$$176 \quad l_{12(k)} \sim TN_{(l_{984(k)}, l_{1938(k-1)})}(\mu_{12}, 1)$$

177 After that, sampling from the liability of *horse 1938* was performed using:

$$178 \quad l_{1938(k)} \sim TN_{(l_{12(k)}, \max(l_{472(k-1)}, l_{1214(k-1)}))}(\mu_{1938}, 1)$$

179 Here, the lower limit of the Gaussian truncated distribution is the maximum of the  
 180 liabilities of *horse 472* and *horse 1214* on the previous Gibbs sampler iteration, because  
 181 rankings in competitions below fourth were not registered on the database.

182 Finally, a sampling of the conditional predictive distribution for the liabilities of those  
 183 horses below fourth place (*horse 472* and *horse 1214*) was performed using a truncated  
 184 Gaussian distribution with the only upper boundary being the liability of *horse 1938*.

$$185 \quad l_{472(k)} \sim TN_{(l_{1938(k)}, -\infty)}(\mu_{472}, 1)$$

$$186 \quad l_{1214(k)} \sim TN_{(l_{1938(k)}, -\infty)}(\mu_{1214}, 1)$$

187 A total of 250000 iterations of the Gibbs sampler were performed, after discarding the  
 188 first 25000. Convergence was checked by using the Raftery and Lewis (1992) algorithm  
 189 and by visual inspection of the chain.

190 In order to evaluate the possible changes in the genetic ranking of the animals by their  
 191 breeding value, the breeding values estimated by the Thurstonian model were compared  
 192 with those obtained by the official multivariate BLUP animal model used in the  
 193 systematic genetic evaluation of this population. This procedure included a total of four  
 194 different performance traits: annual earnings (log transformed), percentage of first  
 195 placings in a year (square root transformed), time per kilometre and best racing time per  
 196 hippodrome and type of start. Although none of them is directly comparable with the  
 197 trait analyzed in this work, we can use them as reference values. The complete

198 description of the models used for the BLUP procedure was described by Gómez et al.  
199 (2010a). However, in order to compare the results with BLUP methodology, the same  
200 model with the same trait and the same dataset was also estimated using BLUP  
201 methodology.

202

## 203 **RESULTS AND DISCUSSION**

204

205 The trait of ranking in the race has been analyzed in this paper because it allows for the  
206 direct comparison between similar competitions held in different countries (Bokor et al.,  
207 2005). It also allows us to compare between horses competing together in the same race  
208 with the other events held, independently of the race level (Tavernier, 1990), and  
209 reflects the potential of Trotters to win at the finishing line (Röhe et al., 2001), because  
210 this is not the same thing as simply running fast.

211 However, the differences in the ranking of two animals that compete together in two  
212 different races is not indicative of the differences in their potential (or genetic values),  
213 because it is conditioned by the level of the rest of the horses participating. The  
214 application of a Thurstonian model for the analysis of ranking traits allows us to fix the  
215 race effect, correcting the results obtained by the degree of competitive quality for each  
216 race (the competitive level of animals that participate in the same race). Thus, the  
217 animals which compete in high level races are evaluated more positively than those  
218 which have participated in races with a lower level of competitiveness.

219 Table 2 shows the variance components for the trait of ranking in races in the STH  
220 using a Thurstonian model. The heritability obtained is 0.09, which is within the range  
221 for values for ranking traits in horses (0.03 to 0.33) reported in the reviewed literature  
222 (Arnason et al., 1982; Ojala and van Vleck, 1981; Ojala, 1987; Röhe et al., 2001;

223 Thuneberg-Selonen et al., 1999). This value is rather low in comparison with the value  
224 of the ranking trait analyzed using BLUP methodology (percentage of first placings in a  
225 year) in the same population (0.14, Gómez et al., 2010a). This could be due to the  
226 differences in the analyzed traits, which in this work include the complete race ranking,  
227 whereas in the percentage of first placings in a year only the first place in the ranking is  
228 included. In addition, in this work we have only included older horses, whereas Gómez  
229 et al. (2010a) have also included younger ones. According to Huizinga and van der Meij  
230 (1989) and van Veldhuizen (1997), heritabilities based on (selected) older horses are  
231 lower, depending on the data set used. When we analysed the same trait with the same  
232 model and the same dataset using a BLUP animal model, the heritability obtained was  
233 0.05, which is also within the range of the reviewed bibliography, but nearer to the  
234 heritability level reported in the work.

235 Whereas success in most human competitive sports depends solely upon human  
236 decisions and responses, successful results in equestrian sports depend on a more  
237 complex trait which involves human-horse interaction. Thus, the value of a horse  
238 depends on how the horse-rider team performs (Visser et al., 2008). A horse of only  
239 fair quality, ridden by a professional rider, might obtain more and better competition  
240 results than a high-quality horse with a less competent rider (Stock and Distl, 2005), and  
241 so, it can be expected that a good horse-rider combination will perform better in terms  
242 of final ranking in competitions (Visser et al., 2008). Similar results were expected for  
243 the driver. According to our results in a previous analysis, this influence is very high,  
244 because the training system and race strategy both influence the performance of the  
245 horse (Gómez et al., 2010a). Therefore, the effects of the influence of the trainer and the  
246 driver on the performance results were also evaluated. A well-balanced horse-rider team

247 improves not only sport performances, but also the welfare of both, by decreasing  
248 stress, frustration, risks of injuries and accidents (Visser et al., 2008).

249 The influence of the trainer-driver effect was quantified in this work as 26% of total  
250 variability (Table 2), similar to the effect of the rider in other equestrian disciplines  
251 (Kearsley et al., 2008; Lewczuk, 2007; Powers and Kavanagh, 2005). The effect of the  
252 driver was also quantified in Trotter horses (Röhe et al., 2001) as ranging between 0.01  
253 and 0.25. This author has estimated the effect on the trait of ranking at the finishing line  
254 as 0.19, which is similar to the value obtained in this paper.

255 The evaluation of the phenotypic performance of the animals grouped by genetic  
256 ranking (ranking of the animals by their breeding values) is shown in Table 3. The  
257 percentage of top-placed horses (1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup> placed in the ranking), grouped by their breeding  
258 value, and the percentage of top-placed and unplaced horses for each group of animals  
259 are also shown.

260 When the percentage of unplaced horses increases, the placing of the animals in the  
261 ranking by their breeding values decreases, as is expected. Thus, the highest animals in  
262 the genetic ranking have the highest percentage of placings in races.

263 The results obtained for the breeding values in this work were compared with those  
264 obtained by applying the BLUP methodology in the official evaluation of reproducers  
265 within the STH breeding programme in Spain (Gómez et al., 2010a). Although they are  
266 not the same traits, all of them are used in the evaluation of performance for this  
267 population. The percentage of coincidence for the top and bottom 20% of the animals in  
268 the genetic ranking, and for elite horses (top 5%), was estimated (Table 4).

269 The percentage of coincidence ranged between 19.32% and 62.19% for the top and  
270 bottom 20% of the animals in the genetic ranking. When the top 5% of animals in the  
271 genetic ranking were analyzed, the values ranged between 5.78% and 39.50%. The

272 highest values were obtained with annual earnings, because this trait takes into account  
273 all the horses that earn money in the race (all the placed horses) as the trait analyzed  
274 with the Thurstonian model. The lowest values were obtained for time per kilometre,  
275 which could be due to the fact that this trait only reflects the capacity of the horse to run  
276 fast (racing speed), independently of whether the horse wins the race or not. The  
277 percentage of coincidence with the ranking trait analyzed (percentage of first placings in  
278 a year) was in the medium-low range, because this trait includes only the races where  
279 the animal came first, and lower placings were not included.

280 The percentages of coincidence with the same trait, the same model and the same  
281 dataset using a BLUP animal model are higher, ranging between 89.39% and 92.81%  
282 for the top 5% and the bottom 20% respectively, as was expected (Table 4).

283 Differences between sex, age and races can be evaluated using the Thurstonian model.  
284 These results show that males are 0.15 standard deviations better than females, which  
285 concords with several authors who have affirmed that males held an advantage over  
286 females in times, earnings and placings (Arnason, 1987; Langlois and Blouin, 2008;). In  
287 addition, several authors agree about the importance of the effect of age on performance  
288 results for Trotter horses (Langlois, 1982). Previous analyses in Trotter horses have  
289 shown that younger animals have slower times in races (Physick-Sheard, 1986);  
290 however, contradictory results were also shown in other populations in which the best  
291 racing time diminishes with age (Ojala, 1982; Ojala and Hellman, 1987; Leroy et al.,  
292 1989). In the STH, young animals (5-8 years old) are 0.24 standard deviations better  
293 than middle-aged animals (9-10 years old), and 0.59 standard deviations better than the  
294 older animals (over 10 years old) for race rankings with a total deviation of 1.23. This is  
295 in line with the breeding criteria applied in this breed, where the ability to begin their  
296 sports career early and show good performance at an early age is a desirable feature.

297 Thus, horses starting their sports career early have been reported to be superior to others  
298 as racehorses and to have longer sports careers (Physick-Sheard, 1986; Saastamoinen,  
299 1991; Saastamoinen and Ojala, 1991), although Saastamoinen and Nylander (1996) and  
300 Ricard et al. (2000) reported that the low heritability of early performance evidenced the  
301 high environmental influence on the early start of a sports career.

302 It is clear that in horse breeding there is a close association between race and breeding  
303 values, because the “best” horses usually participate in the best-paid races. In our study,  
304 we have included the race effect as a linear effect underlying liability, as recommended  
305 in Gianola and Simianer (2006). Ricard and Legarra (2010) have suggested that the race  
306 effect is not identifiable when it is calculated at the same time as breeding values and  
307 permanent environmental effects. They affirmed that race has no effect on ranking, and  
308 there is no way of estimating a race effect from the ranking information. We agree with  
309 them if the information is isolated – however, with a mixed animal models approach,  
310 the information for breeding values and permanent environmental effect comes from  
311 several races with sufficient genetic connectedness. Thus, race effects are estimated at  
312 the same time as breeding and permanent environmental effects which are crossed with  
313 them. The empirical distribution of the posterior mean estimates of race effects is shown  
314 in Figure 1.

315 Also, Table 5 shows the number of animals (grouped by their order in the genetic  
316 ranking) included in the top and bottom 5% of races in the race rankings (196 best and  
317 196 worst races) by their quality according to the estimations with the Thurstonian  
318 model. This distribution shows that the best animals usually participate in the best races,  
319 and likewise, the worst animals participate in the worst races.

320 Finally, Figure 2 shows the distribution of the participants in the best and worst races by  
321 their place in the final ranking of these races and by their breeding values. The breeding

322 values of the participants in the best race are higher than those of the participants in the  
323 worst race from the seventh place in the race rankings onwards. The participant which  
324 came second in the worst race has similar breeding values that that which came eighth  
325 in the best race. The application of the Thurstonian model allows us to compare with the  
326 underlying variable without the effect of the race level (best and worst races). However,  
327 the non-random association of breeding values with systematic effects may produce  
328 some prediction bias, and further research following Ricard and Legarra (2010) must be  
329 carried out to check and correct this fact.

330

### 331 **CONCLUSION**

332

333 The practical application of the model described by Gianola and Simianer (2006) has  
334 produced adequate results with the official database of the STH. It is important to  
335 include the race effect in the model, because with a mixed animal models approach, the  
336 information for breeding values and permanent environmental effect comes from  
337 several races with sufficient genetic connectedness, although competitions are usually  
338 structured into categories according to the technical level of difficulty linked to the  
339 horses' technical ability to perform.

340 The application of the Thurstonian model allows us to compare with the underlying  
341 variable without the effect of the race level, thus allowing for more accurate estimations  
342 for genetic parameters and breeding values in the population.

343 To improve the model described, earnings can be used to establish the level of the race  
344 before the estimations (the best races have the highest earnings) or a multiple trait  
345 analysis can be carried out.

346

347 **BIBLIOGRAPHY**

348

349 Arnason, T., 1987. Contribution of various factors to genetic evaluations of stallions.

350 *Livest. Prod. Sci.* 16, 407-419.351 Arnason, T., 1999. Genetic evaluation of Swedish standardbred Trotters for racing  
352 performance traits and racing status. *J. Anim. Breed. Genet.* 116, 387-398.353 Arnason, T., Darenius, A., Philipsson, J., 1982. Genetic selection indices for Swedish  
354 Trotter broodmares. *Livest. Prod. Sci.* 8, 557-565.355 Azor, P.J., Valera, M., Gómez, M.D., Goyache, F., Molina, A., 2007. Genetic  
356 characterization of the Spanish Trotter horse breed using microsatellite markers. *Genet.*357 *Mol. Biol.* 30 (1), 37-42.358 Bokor, A., Blouin, C., Langlois, B., Stefler, J., 2005. Genetic parameters of racing merit  
359 of Thoroughbred horses in steeplechase races. *Ital. J. Anim. Sci.* 4 (3), 43-45.360 Bugislaus, A.E., Roche, R., Kalm, E., 2005. Comparison of two different statistical  
361 models considering individual races or racetracks for evaluation of German Trotters.362 *Livest. Prod. Sci.* 92 (1), 69-76.363 Bruns, E., Ricard, A., Koenen, E., 2004. Interstallion - on the way to an international  
364 genetic evaluation of sport horses. Proceedings of the 55<sup>th</sup> Annual Meeting of the  
365 European Association of Animal Production. 5–8 September, 2004. Bled, Slovenia.366 Dolvik, N.I., Klemetsdal, G., 1999. Conformation traits of Norwegian cold-blooded  
367 Trotters: heritability and the relationship with performance. *Acta Agric. Scand. A Anim.*368 *Sci.* 49, 156-162.369 Gianola, D., Simianer, H.A., 2006. A Thurstonian model for quantitative genetic  
370 analysis of ranks: a Bayesian approach. *Genetics* 174, 1613-1624.

- 371 Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., 2010a. Genetic analysis of racing performance of  
372 Trotter horses in Spain. *Livest. Sci.* 127, 197-204.
- 373 Gómez, M.D., Menendez-Buxadera, A., Valera, M., Molina, A., 2010b. Estimation of  
374 genetic parameters for racing speed at different distances in young and adult Spanish  
375 Trotter horses using the random regression model. *J. Anim. Breed. Genet.* 127 (5), 385-  
376 394.
- 377 Gómez, M.D., Molina, A., Menendez-Buxadera, A., Valera, M., 2010c. Estimation of  
378 genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult  
379 Trotter Horses using a Random Regression Model. *Livest. Sci.* (2010),  
380 doi:10.1016/j.livsci.2010.10.004.
- 381 Huizinga, H.A., van der Meij, G.J.K., 1989. Estimated parameters of performance in  
382 jumping and dressage competitions of the Dutch Warmblood Horse. *Livest. Prod. Sci.*  
383 21, 333-345.
- 384 Kearsley, C.G.S., Woolliams, J.A., Coffey, M.P., Brotherstone, S., 2008. Use of  
385 competition data for genetic evaluation of eventing horses in Britain: analysis of the  
386 dressage, show-jumping and cross country phases of eventing competition. *Livest. Sci.*  
387 118 (1-2), 72-81.
- 388 Langlois, B., 1982. L'héritabilité des performances chez le Trotteur. Une revue  
389 bibliographique. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 14, 399-414.
- 390 Langlois, B., Vrijenhoek, T., 2004. Qualification status and estimation of breeding  
391 value in French Trotters. *Livest. Prod. Sci.* 89, 187-194.
- 392 Langlois, B., Blouin, C., 2008. How the study of the number of starts and the starting  
393 status can inform about selection bias when using earnings for breeding evaluations in  
394 race horses. Proceedings of the 59<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of  
395 Animal Production. August 27th 2008. Vilnius, Lithuania.

- 396 Leroy, P.L., Kafidi, N., Bassleer, E., 1989. Estimation of breeding values of Belgian  
397 Trotters using animal model. In: Langois, B. (Ed.), State of Breeding Evaluation in  
398 Trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse  
399 Production, Helsinki, 1 July 1988, vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- 400 Lewczuk, D., 2007. The effect of training on linear jumping parameters in young  
401 stallions. *Equine Comp. Exer. Phys.* 4, 159–165.
- 402 Ojala, M., 1982. Some parameters estimated from a restricted set of race records in  
403 Trotters. *Acta Agric. Scand.* 32, 215-224.
- 404 Ojala, M., 1987. Heritabilities of annual summarized race records in Trotters. *J. Anim.*  
405 *Sci.* 64, 117-125.
- 406 Ojala, M., 1989. Breeding evaluation of Trotters in Finland. In: Langlois, B. (Ed.), State  
407 of Breeding Evaluation in Trotters, Proceedings of the EAAP Symposium of the  
408 Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication,  
409 Pudoc, Wageningen.
- 410 Ojala, M., van Vleck, L.D., 1981. Measures of racetrack performance with regard to  
411 breeding evaluation of Trotters. *J. Anim. Sci.* 53 (3), 611-619.
- 412 Ojala, M., Hellman, T., 1987. Effect of year, sex, age and breed on annually  
413 summarized race records for Trotters in Finland. *Acta Agric. Scand.* 37, 463-468.
- 414 Physick-Sheard, P.W., 1986. Career profile of the Canadian Standardbred. II. Influence  
415 of age, gait and sex upon number of races, money won and race times. *Can. J. Vet. Res.*  
416 50, 457-470.
- 417 Powers, P.N.R., Kavanagh, A.M., 2005. Effect of rider experience on the jumping  
418 kinematics of riding horses. *Equine Comp. Exer. Phys.* 2, 263-267.

- 419 Raftery, A.E., Lewis, S.M., 1992. How many iterations in the Gibbs sampler? In:  
420 Bernardo, J.M., Berger, J.O., David, A.P., Smith, A.F.M. (Ed.) Bayesian Statistics IV.  
421 Oxford University Press, Oxford, UK.
- 422 Ricard A., Legarra A., 2010. Validation of models for analysis of ranks in horse  
423 breeding evaluation. *Genet. Sel. Evol.* 42, 3.
- 424 Ricard, A., Bruns, E., Cunningham, E.P., 2000. Genetics of performance traits. In:  
425 Bowling, A.T., Ruvinsky, A. (Eds.), *The genetics of the horse*. CAB International,  
426 Wallingford, Oxon, UK.
- 427 Röhe, R., Savas, T., Brka, M., Willms, F., Kalm, E., 2001. Multiple-trait genetic  
428 analyses of racing performances of German Trotters with disentanglement of genetic  
429 and driver effects, *Arch. Tierz.* 44, 579-87.
- 430 Saastamoinen, M.T., 1991. Some factors of the time of breaking and training affecting  
431 racing performance in young Trotters. *J. Agric. Sci. Finl.* 63, 483-492.
- 432 Saastamoinen, M.T., Ojala, M.J., 1991. Estimates of genetic and phenotypic parameters  
433 for racing performance in young Trotters. *Acta Agric. Scand.* 41, 427-436.
- 434 Saastamoinen, M.T., Nylander, A., 1996. Genetic and phenotypic parameters for age at  
435 starting to race and racing performance during early career in Trotters. *Livest. Prod. Sci.*  
436 45, 63-68.
- 437 Stock, K.F., Distl, O., 2005. Survey on the Development of Hanoverian Warmblood  
438 Horses Selected for Sale at Auction in 1991 to 1998. *J. Equi. Vet. Sci.* May 2005.
- 439 Tavernier, A., 1990. Estimation of breeding value of jumping horses from their rank.  
440 *Livest. Prod. Sci.* 26, 277-290.
- 441 Thiruvankadan, A.K., Kandasamy, N., Panneerselvam, S., 2009. Inheritance of racing  
442 performance of Trotter horses: An overview. *Livest. Sci.* 124 (1-3), 163-181.

- 443 Thuneberg-Selonen, T., Pösö, J., Mäntysaari, E., Ojala, M., 1999. Use of individual race  
444 results in the estimation of genetic parameters of trotting performance for Finnhorse and  
445 Standardbred Trotters. *Agricultural and Food Science in Finland* 8, 353-363.
- 446 Van Veldhuizen, A.E., 1997. Breeding value estimation for riding horses in the  
447 Netherlands. *Proceedings of the 48<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for*  
448 *Animal Production*. August 1997. Vienna, Austria.
- 449 Visser, E.K., Van Reenen, C.G., Blokhuis, M.Z., Morgan, E.K., Hassmén, P.,  
450 Rundgren, T.M., Blokhuis, H.J., 2008. Does Horse Temperament Influence Horse-  
451 Rider Cooperation?. *J. Appl. Anim. Welfare Sci.* 11 (3), 267-284

452 Table 1. Example of the codification of the animal's phenotypic ranking in a race.

Horse number	Ranking
874	1
984	2
12	3
1938	4
472	>4
1214	>4

453

454 Table 2. Variance components for race ranking in the Spanish Trotter Horses using the

455 Thurstonian model and the BLUP model.

Model	Variance	Posterior mean	Posterior deviation
Thurstonian	$\sigma_a^2$	0.14	0.03
	$\sigma_j^2$	0.26	0.03
	$\sigma_p^2$	0.11	0.02
	$h^2$	0.09	0.02
BLUP	Variance	CV	Standard error
	$\sigma_a^2$	0.12	0.03
	$\sigma_j^2$	0.10	0.02
	$\sigma_p^2$	0.25	0.03
	$h^2$	0.05	0.01

456

457 Table 3. Evaluation of the phenotypic performance of Trotter horses in races grouped by

458 genetic ranking (ranking by breeding values).

Place in genetic ranking	Places in race					
	% 1 <sup>st</sup>	% 2 <sup>nd</sup>	% 3 <sup>rd</sup>	% 4 <sup>th</sup>	% placed	% unplaced
1-25	40.19	17.67	8.16	10.10	76.12	23.88
26-50	24.78	17.78	11.08	9.91	63.56	36.44
51-75	23.66	16.62	12.11	8.17	60.56	39.44
76-100	26.37	12.94	9.45	9.95	58.71	41.29
101-500	16.67	13.91	12.65	10.39	53.63	46.37
501-10440	8.34	9.19	9.56	9.69	36.78	63.22
10441-10840	3.28	4.75	6.03	7.92	21.99	78.01
10841-10865	2.11	1.69	4.22	4.64	12.66	87.34
10866-10890	3.70	1.48	3.70	4.44	13.33	86.67
10891-10915	3.02	2.26	1.51	5.66	12.45	87.55
10916-10940	1.83	2.75	5.50	2.29	12.39	87.61

21

459 Table 4. Percentage of coincidence for the ranking of animals by their breeding values  
 460 (top and bottom 20% of the candidates and top 5% - elite horses - in the genetic  
 461 ranking) between the results with the application of a Thurstonian model and the BLUP  
 462 methodology with the same trait and systematically analyzed traits in this breed.

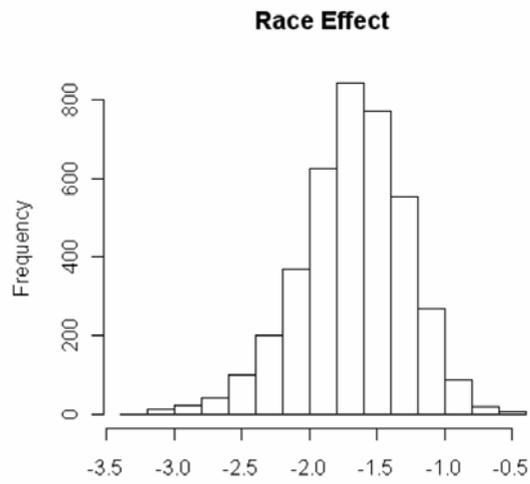
Traits		% coincidence		
		top 5% (elite)	top 20%	bottom 20%
Same trait (with BLUP)	Ranking Record	89.39	90.81	92.81
	Annual earnings	39.50	62.19	56.79
Systematic traits (with BLUP)	Percentage of first placings in a year	26.01	50.82	51.78
	Time per kilometre	5.78	19.32	35.36
	Best racing time for hippodrome and type of start	19.85	42.77	50.39

463

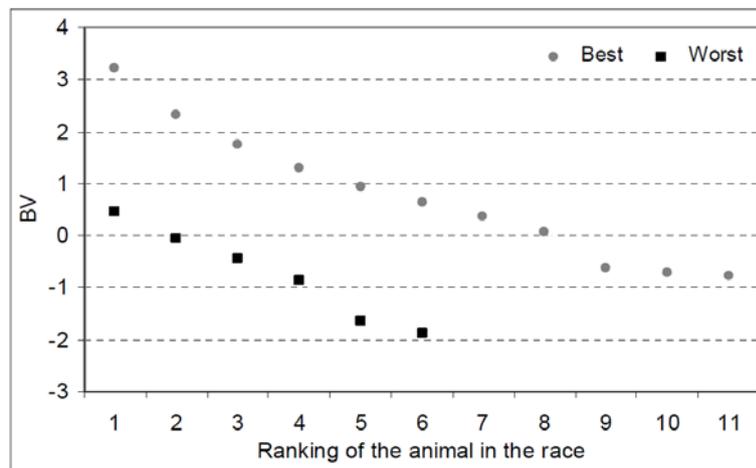
464 Table 5. Number of horses which participate in the 5% best and worst races grouped by  
 465 their place in the genetic ranking.

Place in genetic ranking	Races in the ranking	
	Top 5% (196)	Bottom 5% (196)
1-25	305	0
26-50	101	0
51-75	99	0
76-100	55	0
101-500	639	10
501-10440	972	1160
10441-10840	7	285
10841-10865	0	21
10866-10890	0	9
10891-10915	1	36
10916-10940	0	30

466 Figure 1. Empirical distribution of the posterior mean estimates of the race effects.



467

468 Figure 2. Distribution of the participants in the best and the worst races by their place in  
469 the final ranking of these races and by their breeding values

470



# Discusión General





## 5. DISCUSIÓN GENERAL

A continuación se presenta la discusión general de esta Tesis Doctoral integrando los cuatro artículos anteriormente expuestos, junto a sus implicaciones prácticas para la gestión genética de esta Raza equina.

### 5.1. LA POBLACIÓN DE CABALLOS TROTADORES EN ESPAÑA.

Los orígenes de las carreras de trote en España se remontan a tiempos lejanos, en los que el transporte de las personas y las mercancías se realizaba por los caminos de tierra utilizando principalmente sistemas de tracción animal. El ansia de competición que existía entre los propietarios de los animales de tracción ligera les hacía competir en los caminos rurales, durante los viajes de vuelta de la misa dominical o de las ferias, e incluso en los viajes a las poblaciones cercanas (Martí, 1995; Bujosa, 2001).

Con el tiempo, estas carreras eventuales comenzaron a estar acompañadas e incentivadas por la realización de apuestas económicas, lo que potenció rápidamente el aumento de interés por parte de los competidores y la asistencia de público, favoreciendo la creación de pistas e hipódromos oficiales y el desarrollo de las carreras tal y como las conocemos actualmente. .

Hoy en día, las carreras de trote en España son una disciplina ecuestre de gran importancia desde el punto de vista cultural, social y económico. Se celebran mayoritariamente en las distintas islas que componen la Comunidad Autónoma Balear, siendo anecdótica su celebración en los hipódromos situados en otras Comunidades Autónomas, en los que predomina la celebración de carreras de galope.

En la actualidad, las carreras de trote se desarrollan siempre dentro de hipódromos y pistas oficiales y están reguladas por un código oficial de carreras aprobado por la *Federación Nacional de Trote*. Es destacable también que en los últimos años estas actividades deportivas, ligadas al sector ecuestre, están adquiriendo una mayor importancia gracias a las labores de promoción y difusión que se realizan desde la ASTROT y el MARM, acercando esta disciplina a los interesados en el mundo del caballo y al público en general a través de los medios de comunicación, las revistas especializadas, etc. (Gómez *et al.*, 2007). Por otra parte, gracias a la labor de gestión y recopilación realizada por las *Federaciones Nacional y Balear de Trote* se dispone de información referente a todos estos eventos deportivos celebrados en España desde el año 1990.

El protagonista principal e indiscutible de estos eventos deportivos en nuestro país es el *Caballo Trotador Español* (CTE). Se trata de una raza de origen múltiple, formada por la importación de material genético procedente de otros países (en forma de reproductores vivos y/o semen fresco o congelado), principalmente Francia y Estados Unidos. Prácticamente desde los inicios de la formación de esta Raza, los criadores han

seleccionado animales extranjeros para actuar como reproductores en esta población, en función de sus rendimientos funcionales para las carreras de trote en los países de origen, lo que ha determinado un progreso funcional de la población (figura 2, artículo 1). A pesar de este origen multipoblacional, es importante destacar que en los estudios previos realizados en base a la información molecular disponible para el CTE, no se han detectado diferencias moleculares entre las distintas poblaciones de caballos trotadores analizadas (Azor *et al.*, 2007).

El CTE se encuentra catalogado actualmente como una *Raza Equina Integrada*, según el *Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España* (Real Decreto 2129/2008, de 26 de diciembre, por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas). Según el citado Real Decreto, una *Raza Equina Integrada* es aquella que se ha incorporado plenamente al patrimonio ganadero español, con más de veinte años de antigüedad en nuestro país, con genealogía y controles de sus rendimientos conocidos y que poseen un suficiente número de hembras reproductoras censadas que permite desarrollar un Programa de Mejora oficial.

Su Libro Genealógico y su Programa de Mejora están siendo gestionados en la actualidad por la ASTROT, y son las principales herramientas disponibles para la gestión genética de la población equina que nos ocupa. Concretamente, su Libro Genealógico oficial contenía a finales del año 2008 un total de 12075 ejemplares registrados (43,8% de ellos eran hembras y 56,2% eran machos), lo que representaba el 7,4% del censo nacional de équidos de razas Puras. Este dato la convierte en la cuarta población equina de España en función de su censo oficial registrado (Valera *et al.*, 2009).

Del análisis genealógico (Gómez *et al.*, 2009), podemos destacar que la consanguinidad media obtenida para los animales nacidos en la población de referencia (animales nacidos en el último intervalo generacional) ha sido del 1,1%, y el coeficiente de parentesco medio de 1,3%. Ambos valores se encuentran dentro del rango obtenido en el análisis genealógico del resto de razas equinas integradas de España (*Caballo Anglo-árabe* y *Pura Raza Árabe*), siendo en todos los casos bastante inferiores a los obtenidos para las Razas Puras, excepto en el caso del *Caballo de Pura Raza Menorquina*, debido a la escasa profundidad de su genealogía oficial por la juventud de la Raza (Valera *et al.*, 2009). Los niveles de consanguinidad presentados para otras poblaciones de caballos trotadores a nivel mundial son también muy similares, siendo de 1,03% para el *Caballo Trotador Americano* y 1,92% para el *Caballo Trotador Francés* (Thiruvankadan *et al.*, 2009). Los reducidos valores de endogamia obtenidos se deben a la constante entrada de material genético procedente de otras poblaciones de caballos trotadores en el mundo. No obstante, es importante destacar, con objeto de explicar estos bajos niveles de consanguinidad, que en el momento del registro de los animales descendientes de reproductores extranjeros en el Libro Genealógico de esta Raza en España, sólo se ha estado recogiendo oficialmente en la base de datos hasta la tercera generación conocida de ancestros. Por lo que existe una pérdida importante de información genealógica, en cuanto a profundidad de ancestros registrados, que sería muy recomendable completar de cara a una mejor y más completa gestión genética del CTE, y a la obtención de parámetros mucho más fiables. Es por ello, que para la realización de los estudios que componen esta Tesis Doctoral ha sido

necesario completar esta información con la disponible en otras bases de datos de genealogía a nivel internacional.

El Programa de Mejora del CTE fue aprobado oficialmente mediante una Resolución de la Dirección General de Ganadería del 1 de septiembre de 2005. En él se establecen las directrices básicas para la cría de los caballos trotadores en España, teniendo como objetivo principal *la consecución de un caballo capaz de destacar en las competiciones de trote en las que participe, tanto a nivel nacional como internacional, con una conformación que favorezca esta funcionalidad y un temperamento que le haga ansiar la consecución de la victoria*. En el ámbito de este Programa de Mejora oficial, se están realizando las valoraciones genéticas del rendimiento funcional de los animales que participan en las carreras de trote oficiales celebradas en España. Fruto de estas valoraciones genéticas realizadas, se publicó en el año 2008 el primer *Catálogo de Reproductores de Raza Trotador Español* (Gómez *et al.*, 2008), con el objetivo de poder ofrecer a los criadores de animales de esta Raza una información objetiva y manejable para intentar facilitar la selección de los futuros reproductores y poder llegar a conseguir un mayor progreso genético en esta población. Sin embargo, la escasa publicidad realizada a esta publicación y la confianza ciega de los criadores en el material genético procedente de los países extranjeros, sin realizarse ningún tipo de cuestión sobre la calidad real del mismo, ha limitado por el momento la utilización de los sementales nacionales para la reproducción por parte de los criadores.

## 5.2. VALORACIÓN GENÉTICA SISTEMÁTICA DE LA APTITUD FUNCIONAL PARA EL TROTE

Las valoraciones genéticas oficiales realizadas para evaluar el rendimiento funcional del CTE en España están basadas en una metodología BLUP modelo animal multivariado con repetibilidad, descrita en el **primer artículo que compone esta Tesis Doctoral** (Gómez *et al.*, 2010). Esta metodología presenta muchas ventajas frente a los sistemas anteriores de evaluación empleados en las distintas especies animales: incrementar la precisión de las evaluaciones al incorporar la información propia del animal y la de sus parientes; corregir los apareamientos dirigidos, la endogamia y la selección; y tener en cuenta la tendencia genética de la población y evaluar a todos los animales incluidos en el pedigrí (tengan o no registros propios de participación disponibles en la base de datos oficial) a través de la matriz de parentesco de los individuos participantes. Además permite incluir en el modelo todos los factores que se deseen (evaluación simultánea de los efectos fijos y aleatorios). Adicionalmente la inclusión de las covarianzas genéticas y residuales entre los distintos caracteres evaluados, permite un incremento de la fiabilidad y una disminución del sesgo de las evaluaciones que se realizan.

No obstante, este tipo de modelos requiere de una información genealógica exhaustiva y lo más fiable posible, poseyendo mayores necesidades de cálculo que otras metodologías de valoración anteriores. Pero, a pesar de ello, con los sistemas informáticos y el software

disponibles en la actualidad este último inconveniente se resuelve de manera generalmente sencilla.

El artículo titulado **“Análisis genético del rendimiento en carreras de los caballos trotadores en España”**, es el primer trabajo que se publica a nivel internacional abordando la valoración genética del trote en el CTE. En él se presentan las bases empleadas en la valoración genética oficial de esta población equina en España, haciéndola comparable con el resto de poblaciones de caballos trotadores de Europa, gracias a la adecuación de la metodología utilizada a las normas establecidas por el Grupo de Trabajo de la EAAP (*European Association for Animal Production*) *Interstallion*<sup>3</sup> (Interstallion, 2008), y poniéndose en evidencia las adecuadas características de esta población equina para participar en una valoración genética internacional de la aptitud de trote, pudiendo actuar como conexión entre las distintas poblaciones de caballos trotadores existentes (Tablas 2 y 4 del artículo 1). Esta metodología es similar a la utilizada en el resto de países de nuestro entorno económico para la evaluación genética de esta misma disciplina ecuestre (Minkema, 1975; Ojala and van Vleck, 1981; Ojala, 1987; Ojala *et al.*, 1987; Saastamoinen and Nylander, 1996; Arnason, 1999; Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999; Röhe *et al.*, 2001; Burns *et al.*, 2004; Langlois and Vrijenhoek, 2004; Bugislaus *et al.*, 2005<sup>a,b</sup>; Langlois and Blouin, 2006).

Es importante tener en cuenta que todos los trabajos incluidos en esta Tesis Doctoral se han realizado en base a la información disponible de las carreras de trote que se han celebrado en España en las que participan una gran cantidad de descendientes de animales trotadores procedentes de razas extranjeras (normalmente no participan los reproductores, ya que los potros son el resultado de la inseminación artificial de la yegua con el semen procedente de reproductores extranjeros) y algunos ejemplares franceses, gracias a los acuerdos establecidos entre las Federaciones de estos dos países. Por todo ello, ha sido posible obtener el valor genético de todos los reproductores extranjeros que tienen descendientes inscritos en el Libro Genealógico del CTE y con participaciones deportivas en las carreras de trote celebradas en nuestro país. No obstante, lo ideal sería poder contar también con los resultados de participación de todos los descendientes de estos reproductores y los suyos propios, en todos los países donde se desarrollan las carreras de trote para que la fiabilidad de las estimaciones fuese más elevada y no existiera un sesgo (principalmente debido a una posible interacción genotipo-ambiente, como fue detectado en el caso de las primeras valoraciones realizadas en el ámbito de *Interbull*). No obstante, a día de hoy, debido a las políticas de gestión de datos y a los intereses particulares que puedan tener cada una de las organizaciones que gestionan este tipo de pruebas, este intercambio de información no ha sido posible. La carencia de esta información puede producir un sesgo en la información estimada para los individuos extranjeros incluidos en el pedigrí, aunque se está trabajando a nivel europeo para resolver este problema.

---

<sup>3</sup> El *Grupo de Trabajo Interstallion*, dependiente de la EAAP, busca el desarrollo de una valoración genética conjunta para las distintas aptitudes funcionales desarrollada por los équidos a nivel europeo, siendo equiparable al *Grupo de Trabajo Interbull* para el bovino lechero.

Antes de comenzar a realizar los estudios genéticos, en base a toda la información funcional disponible, se testó el nivel de conexión genética existente entre las carreras, los hipódromos y los países de origen, a nivel de animal participante y de semental, utilizando la metodología descrita por Thoren *et al.* (2008), ya que es indispensable que exista una adecuada conexión genética entre los registros de rendimiento funcional para que puedan ser utilizados en la evaluación genética de los ejemplares. De lo contrario, no sería posible estimar de manera fiable las diferencias existentes entre ellos (Schaeffer, 2004; Arnason and Ricard, 2001). Para ello, Thoren *et al.* (2008) describieron dos parámetros: la *similitud genética* (GS) y la *contribución a la similitud genética* (CGS), cuyos resultados para nuestra base de datos se recogen en la tabla 4 del artículo 1.

La GS pone en evidencia la proporción de la población de animales o sementales que tienen carreras, hipódromos y países de origen en común con respecto al total de animales o sementales incluidos en el estudio, siendo en nuestro caso este porcentaje medio de 13,9% y 17,8% entre las carreras, de 21,9% y 61,8% entre los hipódromos y de 13,3% y 12,9% entre los países de origen, para la población de animales y de sementales respectivamente. Estos valores de conexión genética pueden considerarse bastante elevados, superando a los estimados por Thoren *et al.* (2008) entre las cinco poblaciones europeas de caballos de deporte que analiza (6,9-30,5%). Por lo tanto, se puede afirmar que está garantizada la conexión genética entre las carreras, los hipódromos y los países de origen incluidos en este estudio.

La CGS indica el grado de desequilibrio entre las aportaciones de cada carrera, hipódromo o países de origen para los animales y los sementales incluidos en la base de datos empleada. La mayor CGS por animal se ha obtenido a partir de los CTE (82% de los 100 animales con mayor contribución), mientras que la mayor CGS por semental se ha obtenido a partir de los *Caballos Trotadores Americanos* (41% de los 100 sementales con mayor contribución) y *Franceses* (37%). Estos resultados son lógicos, ya que a nivel de animal, la mayor representación en nuestra base de datos la presentan los animales de nuestra población (CTE), mientras que a nivel de semental son los animales extranjeros los que más información genética, y por lo tanto mayores conexiones, aportan (a través de la importación de semen y/o sementales del extranjero para la mejora de la población original).

Los dos hipódromos con mayor CGS por animal y semental han sido Manacor (39,0% y 37,7% respectivamente) y Son Pardo (36,6% y 35,9%, respectivamente), lo que concuerda con el hecho de que ambos son los hipódromos principales de la Isla de Mallorca, y suelen ser la sede de las carreras de trote de mayor importancia en España (por la dotación económica de sus premios).

El país de origen con mayor CGS por animal ha sido España (74,3%), seguida de Francia (10,4%). Sin embargo, el país de origen con mayor CGS por semental ha sido Estados Unidos (42,1%), seguida de Francia (33,5%), por las razones anteriormente indicadas.

En general, los valores obtenidos para la CGS se encuentran dentro del rango esperado para este tipo de datos en una población de estas características, siendo ligeramente inferiores a los obtenidos por Thoren *et al.* (2008) en el estudio de las conexiones genéticas

entre cinco poblaciones europeas de caballos de deporte (17-93%). En líneas generales, estos valores nos demuestran la adecuada estructura de la base de datos disponible para la realización de los estudios genéticos que se han abordado en los trabajos que componen esta Tesis Doctoral, al evidenciar unas relaciones elevadas entre las carreras, los hipódromos y los países de origen.

La selección de los reproductores y el diseño de los apareamientos realizados por los criadores han sido eficaces hasta el momento, como se observa en la mejora de los resultados de los animales en las carreras. Ello es muy evidente, por ejemplo, en la disminución del tiempo empleado por los animales para recorrer un kilómetro de distancia (*media kilométrica*) en las carreras, debido al aumento de la velocidad (figura 2 del artículo 1). Resultados similares ya han sido evidenciados en otras poblaciones de caballos trotadores (Arnason, 2001). Estos resultados positivos han sido favorecidos de manera considerable por una mejora generalizada de los factores ambientales que rodean el desarrollo de las carreras de trote en España, como son: la calidad de las pistas de competición, la ligereza y el diseño de los sulkys para transportar al conductor, el mayor control de la alimentación de los animales para regular su fuerza y temperamento, y la mejora del manejo y de las sesiones de entrenamiento por parte de los criadores y entrenadores, que cada vez van mejorando su calidad y siendo más profesionales. Es importante destacar que el desarrollo del mundo del trote en las Islas Baleares responde por lo general a un modelo mantenido por aficionados (personas que dedican su tiempo libre y su dinero al desarrollo de esta actividad como parte de su ocio) en lugar de a un modelo más profesionalizado (basado en personas cuya principal actividad se desenvuelve dentro de este sector, siendo su principal modo de vida), salvo determinadas excepciones.

Pero además, la entrada de sementales o semen con un valor genético mejorante, procedentes de otros países de nuestro entorno económico, como Francia, Estados Unidos o Italia, que actualmente poseen Programas de Mejora genética de sus respectivas poblaciones de caballos trotadores, ha favorecido la mejora de las características funcionales de los animales trotadores en España. Este hecho queda patente en el listado de animales con un *Índice Genético Global* (IGG) mayor o igual que 100 publicado en el Catálogo de Reproductores del CTE, en el que los reproductores extranjeros presentan elevados valores genéticos, que en la mayoría de los casos son superiores a los obtenidos por los reproductores nacionales que han obtenido las categorías genéticas oficiales (Gómez *et al.*, 2008). Así mismo, si se analiza más detenidamente la estructura de los datos disponibles, la mayoría de los sementales extranjeros poseen más información en la base de datos funcional española que los propios sementales nacionales, siendo los que mayor número de descendientes en participación tienen y los que mayor número de registros de participación para sus descendientes han presentado (Gómez *et al.*, 2007). Este hecho nos evidencia la relativa importancia que tiene aún la cría de caballos trotadores en España en base a la genética nacional disponible, frente a la importación de material genético del extranjero, lo que hace que el manejo genético de esta Raza sea muy diferente al de otras razas equinas españolas.

En general, la cría de los caballos trotadores se encuentra muy extendida a nivel mundial, destacando en países como Canadá, Islandia, Noruega, Suecia, Finlandia, Rusia, Estados

Unidos, Francia, Países Bajos, Bélgica, Alemania e Italia, siendo incipiente su desarrollo en Reino Unido y en España (Thiruvankadan *et al.*, 2009). La relación de la población de CTE con el resto de poblaciones de caballos de trote existentes a nivel mundial evidenciada en el estudio de las conexiones genéticas entre los países de origen, se corrobora mediante el análisis de la información recopilada en el Libro Genealógico de esta Raza. De manera que, si se cuantifica la influencia de otras poblaciones de caballos trotadores extranjeros sobre la Raza que nos ocupa (Gómez *et al.*, 2009), se evidencia que el 37,3% de los animales registrados en el Libro Genealógico oficial del CTE son importados de otros países. Además, el 82,5% de los animales fundadores de esta Raza son importados, principalmente de Francia y de Estados Unidos, aunque también existen animales o material genético procedente de otros países, como Suecia e Italia (tabla 2 del artículo 1).

En las Tabla 5. y Tabla 6. , se presentan los principales ancestros y fundadores de la población de CTE. Como se puede observar, todos ellos proceden de Francia y Estados Unidos, gracias al importante comercio de semen existente desde el inicio de la gestión genealógica de esta Raza.

Dada la importante relación existente entre las distintas poblaciones de Caballos Trotadores no sólo en España sino en el mundo (Ricard, 2005<sup>a</sup>), sería muy interesante poder abordar el desarrollo de los procedimientos necesarios para la realización de una valoración genética internacional para el trote, que asegure el progreso genético conjunto de todas las poblaciones equinas utilizadas en la disciplina. Se trata de un procedimiento de gran interés tanto para las poblaciones exportadoras (que venden un material genético de calidad al exterior) que podrían ver muy beneficiado y extendido su mercado al conocerse mejor la calidad real de los productos, como para las importadoras (que invierten importantes cantidades de dinero en la compra de este material genético), al disponer de una información objetiva y más fiable en la que poder basar la selección de los reproductores para su ganadería, por incrementarse considerablemente la información disponible desde el punto de vista funcional y genealógico, y su fiabilidad.

Tabla 5. Principales ancestros registrados en el Libro Genealógico oficial para la población de Caballos Trotadores en España.

Nombre	País	Sexo	Contribución (%)
<b>Star's Pride</b>	USA	M	7,25
<b>Speedy Crown</b>	USA	M	7,07
<b>Rodney</b>	USA	M	2,22
<b>Fandango</b>	Francia	M	2,21
<b>Carioca II</b>	Francia	M	2,21
<b>Kerjacques</b>	Francia	M	1,84
<b>Kairos</b>	Francia	M	1,71
<b>Volomite</b>	USA	M	1,33
<b>Hernani II</b>	Francia	M	1,27
<b>Valley Victory</b>	USA	M	1,22

Tabla 6. Principales fundadores registrados en el Libro Genealógico oficial para la población de Caballos Trotadores en España.

Nombre	País	Sexo	Contribución (%)
Peter Volo	USA	M	2,34
Warwell Worthy	USA	H	2,15
Mimi Hanover	USA	H	1,91
Loudeac	Francia	M	1,83
Hernani II	Francia	M	1,73
Spencer Scott	USA	M	1,68
Spud Hanover	USA	M	1,42
The Great McKinney	USA	M	1,28
Selka Scot	USA	H	1,20
Mousko Williams	Francia	M	1,13

El rendimiento deportivo de un animal en las carreras de trote es una variable compleja que refleja la capacidad de un caballo para batir a otros caballos con habilidades similares dentro de una carrera (Tolley *et al.*, 1989). Para la evaluación genética sólo existen tres tipos de variables básicas que nos indican el rendimiento de un animal en la carrera (Langlois, 1975): los tiempos, las ganancias y la posición clasificatoria obtenida. Sin embargo, en la bibliografía consultada es posible encontrar multitud de variables diferentes que expresan este rendimiento funcional en competición, basadas en las medidas repetidas de las carreras individuales o en el resumen anual de los diferentes tipos de variables indicados (Klemetsdal, 1989; Ojala, 1989), a los que hay que aplicar diferentes transformaciones matemáticas para asegurar su ajuste a la distribución normal.

En este sentido, Tavernier (1990) expuso que uno de los mayores problemas que existen para el desarrollo de las metodologías de valoración genética aplicadas a los équidos, es la elección de un buen criterio de selección, ya que no existe una única medida del rendimiento de los ejemplares en las competiciones deportivas (Thiruvankadan *et al.*, 2009). Además, la selección genética basada en una única variable tiene un riesgo considerable de omitir otras variables que pueden ser potencialmente importantes a la hora de evidenciar el rendimiento final de los animales en las carreras (Langlois and Vrijenhoek, 2004). Por ello, al realizar las valoraciones del potencial genético de los ejemplares, siempre se recomienda la utilización de modelos multivariantes que ayudan a reducir este sesgo de manera considerable (Arnason, 1999; Langlois and Vrijenhoek, 2004), ya que normalmente en ellos se utiliza una combinación de variables que, tomadas como un conjunto, se supone que representan la capacidad de un caballo para rendir en esta disciplina ecuestre, tal y como aconsejan Thiruvankadan *et al.* (2009).

En la valoración genética realizada en nuestro primer trabajo se incluyen un total de cuatro variables relacionadas con el rendimiento funcional de los caballos trotadores en las carreras:

- Las *ganancias anuales*, que son una medida lógica del rendimiento funcional, al reflejar el nivel de un caballo en relación con el resto de animales que compiten (Thiruvankadan *et al.*, 2009), siendo consideradas útiles y creíbles por parte de los criadores como indicadores del rendimiento deportivo (Langlois and Blouin, 2004): Cuanto mayores son las ganancias anuales de un ejemplar, mejores resultados ha obtenido en las carreras y mayor es su calidad genética. Para asegurar su ajuste a una distribución normal ha sido necesario aplicar una transformación logarítmica, como previamente ya hicieron otros autores para las variables de ganancias (Arnason *et al.*, 1989; Tavernier, 1989<sup>a</sup>; Silvestrelli *et al.*, 1995).
- El *porcentaje de primeros puestos anuales*, que refleja el temperamento del animal, su espíritu y su deseo de ganar en la carrera (Thiruvankadan *et al.*, 2009), permite la comparación de los datos entre países por presentar idéntica interpretación (Bokor *et al.*, 2005): Cuanto mayor es el porcentaje de primeros puestos anuales conseguidos por un animal, mejores resultados ha obtenido en las carreras y mayor es su calidad genética. En nuestro trabajo ha sido necesaria la transformación de la raíz cuadrada para asegurar el ajuste a la distribución normal de esta variable.
- El *mejor tiempo de carrera por hipódromo y modo de salida*, que evidencia la capacidad deportiva de un animal cuando se presentan las condiciones ambientales favorables (Arnason, 2001), indicando el nivel relativo de un caballo en relación con el resto de competidores en una carrera (Thiruvankadan *et al.*, 2009): Cuanto menor es el mejor tiempo de carrera por hipódromo y modo de salida, mejores resultados puede obtener el animal, y mayor es su calidad genética.
- El *tiempo por kilómetro*, que es una variable importante en la selección genética al estar muy bien definida (Ricard, 1998), lo que favorece su interpretación por parte de los criadores al evidenciar la velocidad de un animal (su inversa al medir el tiempo medio empleado en recorrer un kilómetro) o, lo que es lo mismo, su capacidad para correr rápido (Thiruvankadan *et al.*, 2009), siendo la única medida directa de la velocidad en carrera (Ekiz and Kocak, 2005): Cuanto menor es el tiempo por kilómetro de un animal en una carrera, mejores resultados puede obtener y mayor es su calidad genética.

Los niveles de heredabilidad obtenidos para las cuatro variables incluidas en este estudio (tabla 3, artículo 1) se encuentran dentro del rango establecido por la bibliografía consultada, siendo de 0,27 para las *ganancias anuales* (oscilando entre 0,09 y 0,45 en la bibliografía), 0,14 para el *porcentaje de primeros puestos* (fluctuando entre 0,11 y 0,22 en la bibliografía), 0,29 para el *mejor tiempo de carrera por hipódromo y modo de salida* y 0,28 para el *tiempo por kilómetro* (oscilando entre 0,08 y 0,50 para las variables de tiempo en la bibliografía). Estos resultados apoyan la posibilidad de incluir estas variables como criterios de selección en el Programa de Mejora oficial de esta Raza, y aseguran la adecuación de todos los modelos empleados para las distintas variables en la valoración genética.

Así mismo, las correlaciones genéticas estimadas entre las distintas variables incluidas en este estudio (tabla 3 del artículo 1) han sido de magnitud media-alta. Esto nos garantiza que el esfuerzo selectivo realizado por los criadores para mejorar uno de estos criterios de selección va unido siempre con una mejora indirecta en el resto de variables incluidas en el Programa de Mejora oficial de la raza, lo que favorece el progreso para todas las variables incluidas en conjunto. De esta manera, se excluye la posibilidad de seleccionar por criterios correlacionados negativamente, que darían lugar a un retraso en el progreso genético de la población y a importantes dificultades en la mejora. Cabe destacar que todas las correlaciones estimadas entre las variables de tiempo y el resto de variables analizadas son siempre negativas, ya que una disminución de los tiempos de carrera implica siempre una mejora de las posiciones clasificatorias de los animales, y por lo tanto de las ganancias obtenidas.

Tras la estimación de los parámetros genéticos se realizó el cálculo de los valores de cría para cada una de las variables analizadas. Los resultados de las correlaciones de Pearson entre los valores genéticos de los animales para cada una de las variables se presentan en la Tabla 7, haciéndose patente lo indicado anteriormente de que estas variables no miden exactamente lo mismo, lo que se demuestra por las correlaciones genéticas entre ellas. Las correlaciones entre los valores genéticos muestran una magnitud media-alta, oscilando entre 0,23 (*porcentaje de primeros puestos – tiempo por kilómetro*) y 0,77 (*tiempo por kilómetro - mejor tiempo anual por hipódromo y modo de salida*). La escasa correlación obtenida entre el *porcentaje de primeros puestos* y el *tiempo por kilómetro* se debe a que la primera variable ofrece una información muy concreta al incluir únicamente un resumen anual de los animales que se clasificaron en la primera posición, mientras que la segunda aporta un dato de tiempo empleado para recorrer un kilómetro para cada una de las participaciones de los distintos animales en las carreras con registro de velocidad incluidas en la base de datos analizada. La elevada correlación obtenida entre el *tiempo por kilómetro* y el *mejor tiempo anual por hipódromo y modo de salida* puede ser debida a que ambas son variables de tiempo y la segunda (que representa un resumen anual de los resultados de tiempo en función del hipódromo y el modo de salida) está incluida en la primera.

Tabla 7. Correlaciones de *Pearson* entre los valores genéticos de los animales estimados para cada variable en estudio.

Variable	PPP	MKM	MTPAHM
GA	0,58	0,44	0,75
PPP		0,23	0,48
MKM			0,77

Donde: GA es *Ganancias Anuales*, PPP es *Porcentaje de Primeros Puestos*, MKM Es *Media Kilométrica* y MTPAHM es *Mejor Tiempo Anual por Hipódromo y Modo de Salida*.

Así mismo, se ha estudiado el porcentaje de coincidencia para el percentil 20% superior e inferior de animales en función de su posición en la clasificación genética de los animales

en función de su valor de cría para las distintas variables analizadas, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8. Estos valores han oscilado entre 20,6% y 52,9% para los animales incluidos en el percentil 20% superior de la clasificación genética, y entre 43,8% y 73,8% para los animales incluidos en el percentil 20% inferior. En líneas generales estos resultados concuerdan con los obtenidos a partir del estudio de las correlaciones.

Tabla 8. Porcentaje de coincidencia entre las distintas variables analizadas entre los animales incluidos en el percentil 20% superior (sobre la diagonal) e inferior (bajo la diagonal) en el ranking genético.

Variable	GA	PPP	MKM	MTPAHM
GA		52,9	23,7	48,7
PPP	56,2		20,6	41,4
MKM	52,4	43,8		48,0
MTPAHM	73,8	57,5	63,4	

Donde: GA es *Ganancias Anuales*, PPP es *Porcentaje de Primeros Puestos*, MKM Es *Media Kilométrica* y MTPAHM es *Mejor Tiempo Anual por Hipódromo y Modo de Salida*.

Para facilitar la interpretación de los valores genéticos parciales por parte de los ganaderos y criadores de animales de esta Raza, en el Catálogo de Reproductores publicado para el CTE (Gómez *et al.*, 2008), se ha elaborado un *Índice Genético Global* (IGG) que se ha formulado a partir de la ponderación de los valores genéticos para cada una de las cuatro variables analizadas en función de su importancia para la selección. Este índice permite a los ganaderos tener una idea general sobre el potencial genético de cada animal para la disciplina de trote, ya que en él, los distintos criterios de selección se encuentran ponderados en función de su importancia relativa en la selección genética de esta población según los criterios establecidos por la propia Asociación de Criadores.

Así, en función de la información facilitada por la Asociación de Criadores sobre la importancia fenotípica de las distintas variables, los mayores pesos son para las variables temporales: *tiempo por kilómetro* y *mejor tiempo anual por hipódromo y modo* (40% y 30% del peso en el índice genético global, respectivamente); ya que para los ganaderos son un criterio de selección muy sencillo y claro, que evidencia la capacidad de un animal para ir rápido durante el desarrollo de una carrera. Normalmente, el parámetro utilizado en los hipódromos para la comparación directa de los animales que compiten en una carrera a lo largo del tiempo y para la superación de sus propios record es el tiempo por kilómetro (inversa de la velocidad), por lo que el ganadero está habituado a su interpretación y utilización para la comparación fenotípica de los ejemplares. Sin embargo, el hecho de ir rápido no siempre significa necesariamente ganar una carrera. Por eso, es preciso complementar estas dos variables con la inclusión de otros criterios de selección. Por un lado hay que incorporar el valor genético de las *ganancias anuales* (20% del IGG) que nos indican indirectamente la cantidad de veces que, durante un año, un animal ha terminado una carrera en las primeras posiciones, pues únicamente en estos casos recibe un premio

económico que se contabiliza y cuya cuantía está en función del nivel o la importancia de la carrera. Y por otro lado hay que incluir el valor genético del *porcentaje de primeros puestos* (10% del IGG), que indica claramente el porcentaje de carreras en las que un animal ha quedado clasificado en la primera posición del total de participaciones que ha realizado durante un año. Es decir, el porcentaje de carreras que ha ganado en un año. Este índice, junto con los cuatro valores genéticos, son sencillos de interpretar por parte de los ganaderos y criadores, y de constante utilización en los hipódromos, ya que actualmente los valores fenotípicos de estas cuatro variables se presentan en los boletines semanales de resultados emitidos por la *Federación Balear de Trote*.

A partir de los resultados obtenidos para el IGG, y siguiendo las directrices marcadas por el Programa de Mejora de esta Raza y por el MARM, se han establecido dos categorías genéticas que aparecen reflejadas en el Catálogo de Reproductores: *Joven Reproductor Recomendado* y *Reproductor Mejorante*. Un *Joven Reproductor Recomendado* es un animal, con una edad inferior a 7 años, cuyo potencial genético ha sido testado en la valoración genética realizada (IGG mayor o igual que 100) pero sin exigirle un nivel de fiabilidad mínimo para ello. Es el equiparable a un *animal en prueba*. Con esta categoría genética se pretende incentivar la utilización de los animales jóvenes como reproductores en la población, para asegurar que el número de descendientes se vea incrementado significativamente, con objeto de permitir su posterior testaje genético precoz, con una mayor fiabilidad. Un *Reproductor Mejorante* es un animal, con 7 o más años de edad, cuyo potencial genético ha sido testado en la valoración genética realizada (IGG mayor o igual que 100), con una fiabilidad mínima exigida del 60% para esta disciplina, por lo que puede denominarse también *animal con prueba de descendencia superada*, cuyo rendimiento positivo se ha evidenciado tanto en él mismo como en su descendencia.

El Catálogo publicado (Gómez *et al.*, 2008) incluyó un total de 5 *Reproductores Mejorantes* de la Raza CTE (3 machos y 2 hembras) y 56 *Jóvenes Reproductores Recomendados* (17 machos y 39 hembras). Al reducido número de machos que han obtenido estas categorías genéticas ha contribuido el hecho de que los ejemplares castrados y fallecidos no pueden optar a la consecución de las categorías genéticas anteriormente definidas, al encontrarse reservadas únicamente a los reproductores activos (y a los animales con semen congelado disponible), siendo muy frecuente, dentro del manejo específico de esta especie, castrar a aquellos ejemplares que no se van a utilizar para la reproducción, con el objetivo de poder facilitar su manejo, cuidado y utilización deportiva al mejorar su temperamento.

Como se ha visto anteriormente, la estructura poblacional del caballo CTE apoya la posible inclusión de la población de CTE en una valoración genética internacional para la disciplina de trote, en calidad de población conectora, contribuyendo a la realización de una adecuada comparación entre los resultados obtenidos en los diferentes países (Jorjani *et al.*, 2005; Mark *et al.*, 2005).

Los animales, además de beneficiarse del incremento del número de registros disponibles por animal, podrían ser valorados genéticamente por los mismos criterios de selección, lo que favorecería la aceptación por parte de los técnicos y de los ganaderos de los trabajos que se están realizando a nivel internacional, y se vería incrementado su interés al ser posible una comparación directa del potencial genético de los ejemplares en los distintos

países. Todo ello supondría, a largo plazo, un ahorro importante de trabajo y dinero, ya que únicamente habría que desarrollar un procedimiento de valoración en todo el mundo para esta disciplina ecuestre, aunque las necesidades de cálculo serían muy superiores a las actuales (pero hay que tener en cuenta que *Interbull* ha desarrollado modificaciones metodológicas que permiten el tratamiento de ingentes cantidades de datos en las valoraciones internacionales).

Adicionalmente, a pesar de la aparente pérdida del control de los programas de valoración genética nacional y de autonomía en la elección de los modelos de valoración genética empleados en cada uno de los países, que supondría la realización de una valoración genética internacional, la normalización de los procedimientos de toma de datos y la aplicación de criterios y metodologías de valoración genética consensuadas tendría un claro efecto beneficioso para el sector.

Quizás una posibilidad para conseguir abordar esta valoración genética internacional sería definir unos criterios de selección más sencillos y que estén muy correlacionados con los criterios clásicos (que actualmente son bastante precisos cuando se presentan combinados en un IGG para esta población).

### 5.3. EVALUACIÓN DE NUEVAS METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN GENÉTICA

Como se ha indicado anteriormente, uno de los principales problemas de la valoración genética equina viene derivado de la fuerte influencia del nivel de la prueba (básicamente marcado por la cuantía económica de los premios que se reparten) y el nivel genético de los animales participantes. Esto determina problemas de correlación genotipo-ambiente difíciles de corregir en los modelos de valoración clásica.

Para tener en cuenta el nivel de los participantes en cada carrera sobre el comportamiento de cada caballo, en el **cuarto artículo que compone esta Tesis Doctoral** se ha testado la aplicación práctica de un modelo Thurstoniano (siguiendo la metodología descrita por Gianola and Simianer, 2006) sobre los resultados de las carreras de trote (utilizando la variable *clasificación en la carrera*).

Los resultados obtenidos para los componentes de las varianzas y la heredabilidad de esta variable se presentan en la tabla 2 del artículo 4. La heredabilidad obtenida ha sido de 0,09, encontrándose dentro del rango reseñado por otros autores para las variables de clasificación (Ojala and van Vleck, 1981; Arnason *et al.*, 1982; Ojala, 1987; Arnason, 1999; Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999; Röhe *et al.*, 2001). Este valor ha sido superior al obtenido sobre la misma variable en un modelo equivalente utilizando una metodología BLUP (0,05), lo que demuestra la mayor eficacia esta nueva metodología.

Las diferencias en los parámetros genéticos estimados también producen variaciones en la clasificación genética de los animales evaluados en función de su valor de cría. En la tabla 4 del artículo 4 se presenta la comparación de esta clasificación genética obtenida mediante la aplicación de la metodología Thurstoniana y la metodología BLUP en esta

variable, utilizando el porcentaje de coincidencia con los animales situados en el percentil 20% superior e inferior y 5% superior (animales élite).

Los mayores porcentajes de coincidencia se han obtenido al comparar los resultados en obtenidos al aplicar una metodología BLUP sobre la misma variable con el mismo modelo y la misma base de datos, que han oscilado entre 89,4% y 92,8% para el percentil 5% superior y el 20% inferior, respectivamente. Al realizar la comparación con los modelos BLUP para las variables incluidas en la evaluación genética sistemática realizada en el Programa de Mejora de esta Raza, los porcentajes han sido ligeramente reducidos, como cabía esperar, ya que son variables y modelos no comparables directamente.

Por ello, es posible afirmar que la aplicación de una metodología Thurstoniana puede ser interesante sobre las poblaciones de caballos trotadores, ya que ofrece estimaciones de los parámetros genéticos y los valores de cría corregidos en función del nivel de la competición en la que han participado los animales.

Por otra parte, la importancia económica del intercambio de reproductores y de semen entre países en las últimas décadas ha contribuido a aumentar el interés de los criadores para obtener una información genética más realista, completa y fiable, ya que esta permitiría una selección que maximice el progreso genético en las poblaciones y por ende obtener un mayor rendimiento económico de las inversiones que realicen para la compra de material genético. Una de las vías para incrementar la fiabilidad de las valoraciones es el desarrollo de los procedimientos necesarios para llevar a cabo una valoración genética internacional que nos incremente la calidad y fiabilidad de las estimaciones realizadas, como ya se ha comentado. Otra posibilidad es la puesta a punto de modelos genético-estadísticos que sean capaces de optimizar los controles productivos incrementando la fiabilidad de las valoraciones y que aporten un valor añadido a la valoración genética derivada al poner a disposición de los ganaderos y técnicos de CTE una información más completa y fiable sobre el potencial genético real de sus reproductores (y de los sementales disponibles en otros países del extranjero que ya poseen descendientes compitiendo en España) en diversas condiciones.

Los modelos empleados hasta el momento asumen que el potencial genético del animal es el mismo (o se expresa de igual forma) a lo largo de la vida de los animales, aunque de forma empírica existen evidencias de que esto no es así, y que el comportamiento de dos animales puede evolucionar de forma diferente en varios años, algo que por otra parte ha sido perfectamente demostrado con las diferentes lactaciones de una vaca.

Los *Modelos de Regresión Aleatoria* (RRM) son modelos matemáticos que consideran que la expresión del genotipo sigue una función continua (generalmente se ajusta a polinomios de diferente grado) a lo largo de la vida del animal, permitiendo la estimación de una función (polinomio) de valores genéticos a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Esta metodología, que se desarrolló por primera vez en el caso del vacuno lechero (denominándose *Test Day*), asume que los diferentes genes involucrados en el fenotipo de un carácter a lo largo de un periodo de tiempo no son los mismos (o varían su expresión). Esto en el caso del vacuno de leche ha determinado que hoy en día las diferentes

lactaciones se consideren como caracteres diferentes (aunque altamente correlacionados entre sí).

Actualmente se considera que esta metodología proporciona estimas de las (co)varianzas y parámetros genéticos menos sesgados (Kirkpatrick *et al.*, 1990; Meyer, 2004), permitiendo la estimación de estos parámetros en la evolución total de las clases con un menor número de datos (Bugislaus *et al.*, 2006), sin necesidad de realizar ajustes previos. Por ello, la RRM se está convirtiendo en los últimos años en una opción a considerar para el desarrollo de los modelos genéticos en variables con medidas repetidas para un mismo animal que cambian gradual y continuamente con el tiempo, ya que ofrece mejores resultados que las metodologías tradicionales (Meyer, 2004) y permite identificar los cambios genéticos en la forma de las curvas del rendimiento de los animales. Sin embargo, sus requerimientos computacionales son mucho más elevados (pe. hasta el momento sólo existen estimaciones bivariadas).

En el caso del caballo, el modelo asume que el fenotipo puede variar a lo largo de la vida del animal como consecuencia de una evolución continua del genotipo, lo que conlleva indirectamente a que las clasificaciones de los animales a diferentes edades pueden ser diferentes. Adicionalmente, la estimación de las covarianzas entre los diferentes puntos evaluados (las diferentes edades en que se controla el rendimiento) permite un incremento en la fiabilidad (repetibilidad) de las evaluaciones, ya que para estimar el valor genético a una determinada edad se utilizará la información todos los controles de rendimiento obtenidos en las diferentes edades, en vez de un solo valor correspondiente a una variable resumen.

Por otra parte, la aplicación de estas técnicas permite estimar la expresión genética frente a variaciones continuas de uno o varios efectos ambientales (*norma-reacción*). En la especie equina, el primer trabajo publicado en el que se utilizaron técnicas de RRM para estimar los valores genéticos en équidos (Bugislaus *et al.*, 2006) analizó la evolución de estos en función de la edad en caballos trotadores; mientras que el segundo (Menendez-Buxadera and Mota, 2008) precisamente estimó la evolución de los valores genéticos del PSI en función de la distancia de carrera (en este caso, el factor ambiental), asumiendo que el potencial de cada caballo no tiene por qué ser igual para las diferentes distancias de carrera.

Los **artículos 2 y 3 que componen la presente Tesis Doctoral** se han ocupado de la puesta a punto y evaluación de la aplicación de una RRM sobre dos variables funcionales que miden el rendimiento de los caballos trotadores en las carreras, en función de la distancia de carrera y la edad de participación de los animales en las pruebas.

Hasta la realización de esta Tesis Doctoral, existían muy pocos trabajos publicados que utilizasen esta metodología para la evaluación genética de los caballos (Bugislaus *et al.*, 2006; Menendez-Buxadera and Mota, 2008; Posta *et al.*, 2009). Además, en los artículos publicados por Bugislaus *et al.* (2006) y Menendez-Buxadera and Mota (2008) sólo se estudia una parte concreta de la trayectoria (evolución genética). Es decir, Bugislaus *et al.* (2006) analizaron la trayectoria del *tiempo por kilómetro* en carreras de trote en función de la edad del animal, trabajando con 6 clases (animales de 2, 3, 4, 5, 6 años y mayores de 6

años) en *Caballos Trotadores Alemanes*, mientras que Menendez-Buxadera and Mota (2008) analizaron el *tiempo completo de carrera* (en segundos), en función de la distancia recorrida en la carrera, trabajando con 7 clases diferentes de distancia (para carreras de velocidad entre los 1000 m y los 1600 m) en caballos brasileños de *Pura Sangre Inglés*.

En esta Tesis Doctoral se ha realizado por primera vez en équidos una estimación siguiendo un modelo bicaracter que permite la estimación de los componentes de la (co)varianza sobre toda la trayectoria de los grupos de edad y las distancias de carrera simultáneamente. Es decir, se han estimado los parámetros genéticos para las variables *tiempo por kilómetro* y *ganancias anuales* en función de la edad del animal y la distancia recorrida en la carrera, obteniendo la función (polinomio) de los valores genéticos para las diferentes distancias (de 1600 m a 2700 m) de carrera en animales jóvenes (de 2 a 4 años) y adultos (de 5 a 8 años). De esta manera, se podrá ofrecer a los ganaderos una información más exacta y completa que les permita seleccionar a sus ejemplares en función de unos criterios de selección mucho más específicos:

- Animales precoces con mejores rendimientos funcionales a edades tempranas o animales más tardíos pero con una larga vida productiva (según la edad).
- Caballos velocistas que destaquen en las carreras de distancias cortas o caballos de resistencia que destaquen en las carreras de distancias largas (según la distancia de carrera).

Para la realización de estos análisis ha sido necesario realizar una depuración especialmente intensa sobre las bases de datos con los registros de participación disponibles. Así, se han reducido considerablemente el número de registros, para asegurar una estructura adecuada de la información disponible para la puesta a punto de esta metodología. De este modo, las carreras de trote montado fueron eliminadas de la base de datos por ser muy escasas en España (0,13% del total de participaciones registradas), manteniéndose únicamente las carreras de trote enganchado con modo de salida autostart o handicap. En las carreras de handicap, los animales inician la competición partiendo a una distancia prefijada respecto al primer ejemplar en salir. Esta distancia varía en función de su rendimiento previo en las carreras en las que haya participado (a mejor rendimiento en las carreras previas, mayor penalización en la distancia de salida con respecto al primer ejemplar en salir); mientras que en las carreras con salida autostart, los ejemplares inician la competición a una velocidad constante que es marcada por un vehículo provisto de unos brazos mecánicos que precede al grupo de competidores manteniendo la velocidad constante hasta el punto de salida. También han sido necesarias algunas depuraciones para la edad, la distancia de carrera y el hipódromo. Todas estas depuraciones se han detallado específicamente en el apartado de "material y métodos" de cada uno de los trabajos que componen esta Tesis Doctoral.

Las tendencias observadas en las estimas de la heredabilidad para las dos variables analizadas han sido diferentes. En el caso de la variable *tiempo por kilómetro* (artículo 2), los animales jóvenes y adultos presentan una tendencia de evolución contraria. Es decir, la heredabilidad de los animales jóvenes disminuye a medida que aumenta la distancia de carrera, oscilando entre 0,12 a los 2500 m y 0,34 a los 1600 m. Mientras que para los

animales adultos, la heredabilidad disminuye a medida que desciende la distancia de carrera, oscilando entre 0,13 a los 1600 m y 0,28 a los 2700 m. Las curvas de evolución de los niveles de heredabilidad obtenidos para los dos grupos de edad analizados en este trabajo se cruzan en las clases de distancias medias, presentando valores similares (figura 2 del artículo 2).

Las diferencias observadas en la tendencia se deben a las variaciones en la varianza genética, ya que la varianza fenotípica estimada es similar para ambos grupos de edad, como se puede observar en la figura 2 del artículo 2. Las causas de estos cambios pueden ser muy variadas. Entre otras, pueden deberse a factores como el estado fisiológico del animal en el momento de la carrera, relacionados con su nivel de madurez y sus experiencias previas en la pista. También podrían atribuirse a la preselección de los animales jóvenes que participan en las carreras largas, ya que todos los caballos pueden competir en carreras de distancias cortas sin ser verdaderos velocistas, pero sólo los caballos previamente seleccionados compiten en carreras de distancias largas, lo que hace que exista una menor variación genética entre los participantes en este tipo de carreras (Bakhtiari and Kashan, 2009). Otro factor determinante pueden ser las variaciones en la interacción caballo-conductor en las carreras de larga distancia (más tácticas) y de corta distancia (más rápidas), ya que en las carreras de larga distancia los conductores de los caballos más destacados pueden actuar regulando su velocidad y produciendo variaciones en la velocidad que presenta un mismo caballo a diferentes distancias y carreras (Bakhtiari and Kashan, 2009). Es decir, a mayores distancias de carrera existe siempre una mayor influencia de los factores ambientales sobre los resultados obtenidos (Oki and Sasaki, 1995). Así mismo, la interacción caballo-conductor a las diferentes edades es un factor importante que se debe tener en cuenta, ya que el conductor ejerce normalmente un control mucho más estricto sobre los animales jóvenes durante las carreras para evitar que se lesionen o que galopen.

A pesar de ello, los valores de heredabilidad obtenidos para la variable *tiempo por kilómetro* se encuentran dentro del rango establecido por la bibliografía consultada mediante la aplicación de metodologías clásicas tanto en el CTE (0,28, Gómez *et al.*, 2010) como en otras poblaciones de caballos trotadores (Minkema, 1975; Katona and Distl, 1989; Pösö and Ojala, 1997; Thuneberg-Selonen *et al.*, 1999; Röhe *et al.*, 2001; Bugislaus *et al.*, 2005 a,b).

Para la variable *ganancias anuales* (artículo 3), los grupos de animales jóvenes y adultos han presentado la misma tendencia de evolución según la distancia de carrera, observándose que la heredabilidad aumenta a medida que se incrementaba la distancia de carrera en ambos grupos de edad. Los valores obtenidos son ligeramente superiores en los animales adultos, oscilando entre 0,10 y 0,14 (frente a 0,08 y 0,10 en animales jóvenes). Estos resultados pueden deberse a la distribución no uniforme de los premios económicos en las carreras en las que participan los animales, estableciéndose el reparto en base a los criterios de selección aplicados sobre esta Raza (figura 1 del artículo 3). Aunque teóricamente los responsables de los animales intentan participar en aquellas carreras que tengan una mayor dotación económica en premios, al encontrar localizado un amplio número de hipódromos en una pequeña área geográfica (no es preciso un desplazamiento

largo de los animales, que pueda conllevar lesiones y un mayor costo) y celebrarse carreras semanalmente, en España los caballos participan en un gran número de carreras, con objeto de ver incrementadas sus ganancias anuales, al tratarse de aficionados que tienen este deporte como actividad secundaria o de ocio. Por lo que en general los ejemplares no se preparan ni se reservan para las carreras de mayor importancia, excepto en los casos concretos de propietarios, preparadores y jinetes profesionalizados.

También hay que destacar que los niveles de heredabilidad obtenidos para la variable *ganancias anuales* son en todos los casos ligeramente inferiores a los presentados para otras poblaciones de caballos trotadores consultadas (Arnason *et al.*, 1989; Katona and Distl, 1989; Klemetsdal, 1989) y a los obtenidos en la misma población mediante la aplicación de metodologías de evaluación genética clásicas (0,35, Gómez *et al.*, 2010). Una explicación a este hecho se puede atribuir a la posible sobreestimación de los valores obtenidos mediante la aplicación de las metodologías clásicas, ya que en ellas, parte de la varianza causada por las medidas repetidas se incluye en la estimación de la varianza aditiva, produciendo un incremento de los niveles de heredabilidad estimados. Sin embargo, la aplicación de los RRM consigue corregir este sesgo sobre las estimaciones realizadas.

En el análisis de las correlaciones genéticas entre el valor genético para las diferentes distancias de carrera dentro de cada uno de los grupos de edad, se observa la misma tendencia en ambas variables. Las mayores correlaciones genéticas se han obtenido siempre entre las distancias de carrera más próximas entre sí, llegando a alcanzar valores de 0,99 para todos los grupos de edad en ambas variables. Así mismo, para ambas variables, estas correlaciones disminuyen a medida que aumenta la diferencia entre las distancias de carrera que se están comparando. Estos resultados son similares a los presentados previamente en otras poblaciones de caballos (Langlois, 1984<sup>b</sup>; Ojala *et al.*, 1987; Leroy *et al.*, 1989; Oki *et al.*, 1997; Mota, 2006; Sobczynska, 2006; Bakhtiari and Kashan, 2009; Thiruvankadan *et al.*, 2009) y ponen en evidencia que el efecto de los genes que actúan en el mismo sentido para las distintas distancias de carrera analizadas en este estudio es alto.

En cambio las correlaciones genéticas entre los valores genéticos para los diferentes grupos de edad dentro de cada una de las distancias de carrera analizadas son de rango medio-alto para ambas variables, oscilando entre 0,47 y 0,78 para la variable *tiempo de carrera*, y entre 0,30 y 0,59 para la variable *ganancias anuales*. Sin embargo, en este caso, la tendencia de evolución es contraria para ambas variables. Para la variable *tiempo de carrera* se obtiene la mayor correlación a los 2100 m y la menor a los 2700 m. Mientras que para la variable *ganancias anuales*, el menor valor de correlación genética se presenta a los 1600 m y el mayor a los 2700 m. Las diferencias observadas en estas tendencias pueden deberse a que la interacción conductor-caballo tiene una gran importancia sobre la variable *tiempo de carrera* en los grupos de distancias largas, debido a las grandes diferencias en las estrategias de competición que pueden adoptar los conductores en función del potencial de su animal, la posición de salida, el desarrollo de la carrera, etc. Todos estos factores hacen que en las carreras largas puedan existir mayores variaciones en el *tiempo de carrera* incluso para un mismo animal, como se ha explicado anteriormente.

Sin embargo, el reparto de los premios económicos que reciben los animales está más influido por la edad (según los criterios de selección que se están aplicando actualmente en esta población) que por las distancias de carrera que se recorren. No obstante, hay que señalar que normalmente las carreras más importantes (con mayor dotación económica) son de distancias medias-largas, siendo mucho más variable la dotación económica de las carreras cortas. Por ello, la correlación entre los grupos de edad para las distancias cortas en función de la variable *ganancias anuales* puede ser mucho más variable que para las distancias largas.

Las correlaciones genéticas estimadas entre los diferentes grupos de edad para las dos variables analizadas nos evidencian que es posible realizar una selección precoz de los animales en función de su rendimiento funcional en las carreras cortas en las que participan a edades tempranas de su vida deportiva. Ambas variables poseen una base genética específica con una correlación positiva sobre toda la trayectoria de las distancias de carrera y las edades analizadas en este estudio. Este hecho ofrece a los criadores de animales de esta raza grandes ventajas en la selección de los ejemplares para un tipo de carrera concreto (animales especializados para carreras de corta, media o larga distancia) o de los ejemplares con un buen rendimiento en todas las distancias (animales estables).

Finalmente, tras evidenciar las diferencias en la estimación de los parámetros genéticos, se ha estudiado la influencia que este hecho puede tener sobre la clasificación genética de los ejemplares en función de su valor de cría (ranking genético) y la evolución de su valor genético según la distancia de carrera.

En la Tabla 9 se presenta el análisis del porcentaje de coincidencia en la clasificación genética de los animales, en función de sus valores genéticos para las dos variables analizadas mediante RRM, frente a los resultados obtenidos para estas mismas variables empleando la metodología BLUP modelo animal. El análisis se ha realizado sobre el percentil 20% superior e inferior de los animales en función de su clasificación genética, tomando como población de referencia la posición en el ranking genético obtenido mediante la aplicación de la metodología BLUP. Los porcentajes de coincidencia han oscilado entre el 50,9% y 88,8% para la variable *tiempo por kilómetro* y entre el 60,9% y 67,5% para la variable *ganancias anuales*. Los valores son aceptables teniendo en cuenta los modelos incluidos en esta comparación.

En general, se observa que el porcentaje de coincidencia siempre es superior para las distancias de carrera medias que para las carreras cortas o largas, lo que nos indica que mediante la aplicación de una metodología BLUP modelo animal no podremos discriminar claramente la distancia a la que los animales presentan sus mejores rendimientos o si tienen rendimientos constantes para todas las distancias de carrera. Esto puede ser consecuencia de que la metodología BLUP sólo nos ofrece una solución de valor genético para cada animal, que es el valor medio para todas las carreras. Mientras que el RRM es capaz de diferenciar en la trayectoria que se le solicita, en este caso en función de la edad y la distancia de carrera diferenciando entre los animales con mejores rendimientos funcionales para las distancias de carrera largas, medias o cortas.

Tabla 9. Análisis del porcentaje de coincidencia de los animales según su ranking genético (20% superior e inferior) aplicando una metodología BLUP y de Regresión Aleatoria para las variables tiempo por kilómetro y ganancias anuales, en función del grupo de edad y la distancia de carrera.

Variable	Tiempo por kilómetro		Ganancias anuales	
	Edad1	Edad2	Edad1	Edad2
<b>20% Sup</b>				
• 1600	51,2	58,4	61,6	60,9
• 2200	63,8	68,8	62,2	62,6
• 2700	53,2	59,6	61,8	62,5
<b>20% Inf</b>				
• 1600	63,6	84,7	65,5	64,6
• 2200	73,0	88,8	67,5	65,9
• 2700	50,9	85,8	66,8	63,3

Donde: TPK es *tiempo por kilómetro*, GA es *ganancias anuales*, Ed es edad, Sup es superior e inf es inferior. Carreras cortas es 1600 m, carreras medias es 2200 m y carreras largas es 2700 m.

Así mismo, cuando se compara la posición en el ranking genético de los animales situados en el percentil 20% superior para las dos variables analizadas en función del grupo de edad y de la distancia de carrera, se obtienen porcentajes de coincidencia que oscilan entre el 33,3% y 78,1% para la variable *tiempo de carrera* y entre el 75,7% y 90,1% para la variable *ganancias anuales* (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis del porcentaje de coincidencia de los animales según su ranking genético (10% superior) para las variables tiempo por kilómetro y ganancias anuales, en función del grupo de edad (grupo 1 sobre la diagonal y grupo 2 bajo la diagonal) y la distancia de carrera aplicando una metodología de Regresión Aleatoria.

Variable	Tiempo por kilómetro			Ganancias anuales		
	1600	2200	2700	1600	2200	2700
<b>Distancia</b>						
<b>1600</b>		68,4	33,3		87,7	77,9
<b>2200</b>	54,2		49,8	89,0		90,1
<b>2700</b>	36,1	78,1		75,7	86,7	

Donde: Carreras cortas es 1600 m, carreras medias es 2200 m y carreras largas es 2700 m.

Estos resultados demuestran la existencia de cambios en la clasificación genética de los animales para ambas variables en función de la edad y la distancia de carrera tras la aplicación del RRM. En general, los porcentajes de coincidencia obtenidos para la variable *ganancias anuales* son superiores a los obtenidos para el *tiempo por kilómetro*. Así mismo, los porcentajes son más elevados entre las distancias más próximas, presentando siempre menores porcentajes de coincidencia la comparación entre las carreras de distancias

extremas (1600 m - 2700 m), como ocurría en el estudio de las correlaciones genéticas entre las diferentes distancias de carrera para cada uno de los grupos de edad analizados.

En los artículos 2 y 3 de esta Tesis Doctoral se han presentado gráficamente las diferencias existentes en la evolución genética de las distancias para diferentes animales en función de su valor genético, detectándose diferencias importantes en la trayectoria de las distancias para las variables *tiempo por kilómetro* y *ganancias anuales* en función del animal (figura 4 del artículo 2 y 3).

Estos cambios nos muestran la existencia de animales con un potencial genético constante (estables en toda la trayectoria de distancias) y otros cuyo potencial genético varía en función de la distancia de carrera en la que compitan (velocistas o de resistencia). Todas estas variaciones son de gran importancia en la selección de los futuros reproductores y deben ser tenidas en cuenta por los criadores de esta Raza para garantizar una elección de los reproductores adecuada, en función de criterios de selección más específicos y que se ajusten mejor a los objetivos de cría de cada ganadero.

Por el contrario, las metodologías clásicas que se utilizan de manera sistemática en Europa para la evaluación genética de los animales en las diferentes disciplinas ecuestres no ponen en evidencia estos cambios. Es decir, se puede producir un importante sesgo en el proceso de selección de los reproductores por ausencia de información. Por lo tanto, la aplicación de metodologías de RRM sobre las variables funcionales en los caballos trotadores permite evidenciar la existencia de cambios en la trayectoria de distancias para los diferentes grupos de edad analizados. Así, la información que aporta esta metodología contribuye a la identificación de los mejores animales para cada uno de los criterios de selección específicos aplicados por los criadores, diferenciando los animales precoces de los longevos y los velocistas de los de resistencia.

#### **5.4. RECOMENDACIONES E IMPLICACIONES PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN GENÉTICA Y LA MEJORA DE LA RAZA**

Para finalizar este apartado de Discusión General, se presenta a modo de epígrafes una serie de recomendaciones e implicaciones prácticas que pueden ayudar a mejorar la gestión genética del CTE:

- El CTE se encuentra catalogado como raza Integrada según el *Catálogo Oficial de razas de Ganado de España*. El modelo de gestión genealógica empleado hasta el momento en el CTE, un Libro Genealógico abierto que permite la inclusión de reproductores procedentes del resto de poblaciones de caballos trotadores del mundo sin ningún tipo de requisito previo, favorece el mantenimiento de la variabilidad genética y el control de la consanguinidad de la población dentro de unos niveles adecuados para la gestión. Además, si el material genético que se importa procede de animales con alta calidad genética testada previamente, como

viene siendo hasta el momento, esto contribuye a incrementar el progreso genético de la población de caballos trotadores en España.

No obstante, según nuestros resultados es imposible diferenciar molecularmente las diferentes poblaciones de caballos trotadores debido a los elevados niveles de cruzamiento existentes entre ellas en la actualidad. Por ello, si se desea crear un producto diferenciado, será necesario tomar medidas a este respecto que regulen las condiciones mínimas que deben cumplir los animales para poder ser incluidos como reproductores en el Libro Genealógico de la Raza, utilizando como herramienta para ello una normativa zootécnica del CTE que sea restrictiva en estos sentidos.

Sin embargo, esta decisión debe ser tomada por parte de los criadores y ganaderos de esta Raza, en función de la orientación de la cría y las perspectivas de futuro que persigan, contando con el visto bueno de las administraciones autonómicas y/o nacionales, responsables finales de la gestión de esta población.

- Para aumentar la fiabilidad de todas las estimas realizadas y favorecer la evaluación genética de los ejemplares de esta Raza, sería adecuado recoger en el Libro Genealógico del CTE toda la información conocida sobre los ancestros de los reproductores que se dan de alta como progenitores en la base de datos oficial, de manera que se disponga de suficiente profundidad en la información genealógica para poder realizar estimaciones lo más fiables posibles que eliminen todo tipo de sesgos en las estimaciones. A día de hoy, solo se recogen un número limitado de generaciones al dar de alta a los reproductores (tres generaciones). Sin embargo, los sistemas de comunicación actuales facilitan el intercambio constante y completo de información entre los diferentes países, y esta información podría ser volcada completamente sobre la base de datos española respetando la codificación internacional (*UELN, unique equine life number*) para evitar duplicados, ya que el sistema de introducción manual de la información genealógica de los animales, tal y como ha sido gestionado hasta el momento por las entidades gestoras oficiales reconocidas en España, ha dado lugar a la existencia de algunos animales duplicados y errores de transcripción en la base de datos oficial. Estos errores han tenido que ser depurados antes de utilizar esta información en los estudios genéticos realizados, pero siguen estando presentes en el programa de gestión genealógica oficial para esta Raza.
- En la actualidad, la normativa zootécnica del CTE aún no ha sido aprobada por el MARM, por lo que no se cuenta con una reglamentación específica que regule las condiciones que deben cumplir los ejemplares para su inscripción en el Libro Genealógico oficial. Esto ha propiciado que hasta el año 2008, en el que se aprobó el Real Decreto 2129/2008 y la ASTROT asumió la gestión oficial de este Libro Genealógico, no haya sido totalmente obligatoria la realización de controles de paternidad para todos los animales que se inscribían en el Libro Genealógico del CTE. Hasta esa fecha, sólo se realizaban los controles de paternidad sobre los productos procedentes de la inseminación artificial con sementales extranjeros y

de una muestra aleatoria del resto de los individuos inscritos en el Libro Genealógico cada año, a modo de control.

La tardía implantación de los procedimientos para el control sistemático de la paternidad en los potros nacidos de esta Raza condiciona la fiabilidad de la información genealógica incluida en su Libro Genealógico para los animales de nueva inscripción, como ocurre tradicionalmente en otras especies animales en las que no se realizan controles sistemáticos de paternidad. Las medidas adoptadas por la Asociación de Criadores sobre este tema, al asumir la gestión genealógica desde el año 2008, han sido adecuadas, obligando a controlar la filiación de todos los animales que se inscriban al nacimiento en su Libro Genealógico, tal y como obliga el Real Decreto 2129/2008 (por el que se establece el Programa nacional de conservación, mejora y fomento de las razas ganaderas). Por ello, se recomienda continuar con estas medidas de manera indefinida, ya que ofrecen garantías adecuadas tanto a los gestores de la Raza (sobre la veracidad de la información contenida en la base de datos que gestionan), como a los propios ganaderos y criadores (sobre los animales o dosis seminales con las que realizan transacciones económicas).

Pero además, es importante establecer unas líneas de manejo poblacional que favorezcan a todos los sectores relacionados con el ámbito de la cría de esta Raza. Así por ejemplo, el Libro Genealógico del *Caballo Trotador Francés* es muy restrictivo a la hora de aceptar el registro de animales descendientes de reproductores procedentes del extranjero. Concretamente, este Libro Genealógico se encuentra cerrado tanto a la entrada de reproductores externos como al registro de sus descendientes, aunque cada cierto tiempo seleccionan un plantel de hembras reproductoras que son cubiertas con sementales extranjeros, principalmente procedentes de la Raza *Trotador Americano*. Sin embargo, junto a Estados Unidos, Francia es el país que más material genético aporta cada año al CTE. Otras poblaciones de caballos trotadores siguen una política de gestión similar a la del CTE, admitiendo el registro de todos los cruces realizados con reproductores del extranjero, como es el caso del *Caballo Trotador Sueco* y el *Caballo Trotador Americano*. Es muy importante conocer la opinión de los criadores y propietarios sobre este tema para poder desarrollar las actuaciones adecuadas de gestión que defiendan los intereses generales.

- La utilización masiva de reproductores extranjeros, por la confianza que los ganaderos y criadores tienen en el material genético procedente de otros países y la escasa publicidad realizada al Catálogo de Reproductores de la Raza CTE editado en el año 2008, ha limitado considerablemente la utilización de reproductores nacionales. Si se desea que las políticas de cría se orienten más hacia la utilización de reproductores nacionales para la reproducción, la Asociación de Criadores y las administraciones públicas tendrán que promocionar el uso de los reproductores nacionales entre los ganaderos y criadores, y ofrecer facilidades y una gran cantidad de información fiable en la que basar sus elecciones. Por ejemplo, se podrían ofrecer dosis seminales de reproductores nacionales que

hayan obtenido una categoría genética a precios asequibles o parcialmente subvencionadas, limitar el número de descendientes que se pueden registrar de los reproductores extranjeros en el Libro Genealógico de esta Raza cada año, o condicionar la consecución de las subvenciones o ayudas económicas para los ganaderos a la utilización de reproductores nacionales para la cría (pe. en las ayudas a los potros nacidos que se conceden a nivel autonómico cada año sólo para esta Raza).

Sin embargo, para que el CTE pueda continuar con su sistema de cría actual y disponer de una información completa y fiable a nivel internacional es indispensable que en su Libro Genealógico se incluya toda la información conocida sobre los ancestros incluidos en la genealogía de los animales que se registran anualmente como reproductores. Además, lo ideal sería poder contar con los resultados de participación de todos los descendientes nacionales o extranjeros de los reproductores a evaluar. Para ello, sería necesario abordar una valoración genética internacional, como ya se realiza en otras especies, como en el vacuno lechero, y que ha permitido una globalización total de su cría. Sin embargo, a día de hoy, debido a las políticas de gestión de datos y a los intereses particulares de las organizaciones que gestionan este tipo de pruebas, el intercambio de información no es posible. Por ello, es labor de la Asociación de Criadores interesada plantearse como objetivo de trabajo abordar las negociaciones necesarias para favorecer la realización de esta valoración genética internacional, dando a conocer las ventajas que puede obtener la Raza a las distintas instituciones (autonómicas, nacionales e internacionales) relacionadas con el mundo del CTE, con objeto de movilizar al sector para contribuir a su consecución. Los resultados que se obtengan podrán repercutir muy positivamente sobre los ganaderos y los criadores de los caballos trotadores, tanto en las poblaciones importadoras como en las exportadoras.

- La aplicación de una metodología Thurstoniana permite corregir las estimaciones realizadas por el nivel de competencia real que existe en cada carrera, aportando valores más reales para los parámetros estimados. Por ello, su uso podría estar recomendado en esta población, en función de los objetivos que se quieran conseguir y la información que sea necesario aportar a los ganaderos de la Raza para facilitar la selección de los futuros reproductores. Así mismo, podría estar recomendada para el desarrollo de una valoración genética internacional por utilizar un criterio de evaluación fácil de entender por parte de los criadores y mejorar las estimas con respecto a las metodologías clásicas.
- Los resultados obtenidos tras la aplicación de los RRM en la población de CTE nos evidencian la existencia de animales con diferentes comportamientos genéticos en función de su edad y la distancia de carrera a la que compiten, evidenciando diferencias genéticas existentes entre los animales precoces y los longevos, y entre los animales velocistas y los de resistencia. Para los ganaderos y criadores, es de gran utilidad e importancia conocer esta información a la hora de realizar la selección de los futuros reproductores que actuarán en su ganadería,

según los criterios que deseen aplicar, ya que esto les permite orientar la cría de sus productos hacia criterios de selección muy específicos, aumentando la rentabilidad de sus inversiones en la compra de material genético procedente de otras ganaderías.

- La aplicación de esta metodología, como han evidenciado las correlaciones genéticas estimadas entre los diferentes grupos de edad analizados, favorece también la realización de una selección precoz de los ejemplares en función de su rendimiento funcional en las carreras en las que participen a edades tempranas. Esta selección precoz contribuye a un mayor progreso genético de la población, a una optimización de los costes económicos en la preparación de los animales y a una disminución del intervalo entre generaciones que puede contribuir a cambiar el manejo reproductivo de esta Raza.

Por ello, siempre que la Asociación de Criadores esté dispuesta a facilitar y asegurar la completa y correcta difusión de esta información entre los criadores de la Raza y su formación para garantizar su adecuada interpretación y utilización, se recomienda promover la realización de una valoración genética utilizando la metodología de RRM en sustitución de la metodología de valoración clásica empleada hasta el momento en esta Raza.



# Conclusiones





## 6. CONCLUSIONES

- I. La población de caballos trotadores criados en España podría actuar como una población conectora en el desarrollo de una valoración genética internacional para este deporte. Este hecho se apoya en la estructura genealógica de esta población, en la que la mayoría de los reproductores utilizados provienen de otras poblaciones de caballos trotadores a nivel mundial a través de la importación de semen o sementales de alta calidad genética y se admite la inscripción de sus descendientes directamente en el Libro Genealógico de esta Raza; y en el elevado nivel de conexiones genéticas demostradas tanto a nivel de animal como de semental entre las carreras de trote, los hipódromos y los países de origen de los animales.
- II. La metodología de evaluación genética mediante un BLUP modelo animal que está siendo utilizada de manera rutinaria en los caballos trotadores en España, es similar a la empleada actualmente en el resto de poblaciones de caballos de trote a nivel mundial. Los resultados obtenidos ponen en evidencia que los modelos propuestos cumplen todos los requisitos necesarios para asegurar una evaluación eficaz y objetiva de los reproductores en base a diferentes criterios de selección funcional conocidos y utilizados por los criadores. No obstante, la utilización de un modelo multivariable, en el que los valores genéticos se ponderan en un Índice Genético Global en función de su importancia para la selección en esta Raza, asegura una correlación máxima con el rendimiento funcional real de los animales en las carreras.
- III. En comparación con la metodología BLUP propuesta, la aplicación de una metodología Thurstoniana sobre los controles de rendimiento en caballos trotadores nos permite obtener unas estimas de los parámetros y los valores genéticos más fiables al corregirse por el nivel de competencia existente en cada carrera en la que participan los animales.
- IV. La puesta a punto de los Modelos de Regresión Aleatoria para la valoración genética del Caballo Trotador Español ha evidenciado la existencia de variaciones en los parámetros genéticos estimados en función de la edad de los animales y la distancia de carrera a la que compiten. La utilización de esta metodología nos permite estimar la función de evolución de los parámetros a lo largo de toda la trayectoria de distancias y edades para cada animal. La información que se obtiene contribuye a que los ganaderos puedan realizar una selección genética de sus reproductores más concreta y fiable en función de sus necesidades, aplicando criterios de selección específicos para un tipo concreto de carreras (de corta, media o larga distancia, diferenciando animales velocistas o más resistentes) o para una estrategia de competición concreta (animales más precoces o más longevos).

- V. Los resultados obtenidos para las correlaciones genéticas estimadas entre cada grupo de edad para una distancia dada, mediante la aplicación de los Modelos de Regresión Aleatoria, nos han evidenciado que es posible realizar una selección precoz de los animales en función de su rendimiento funcional en las carreras de trote en las que participen a edades tempranas. Esta selección precoz contribuye a un mayor progreso genético de la población, a una optimización de los costes económicos en la preparación de los animales y a una disminución del intervalo entre generaciones que puede contribuir a cambiar el manejo reproductivo de esta Raza.
- VI. Por todas estas ventajas, se recomienda la utilización de los Modelos de Regresión Aleatoria para la valoración genética de los animales de Raza Trotador Español hasta que se desarrolle la metodología y los procedimientos necesarios para realizar una valoración genética internacional sobre la población de caballos trotadores a nivel mundial.

## CONCLUSIONS

- I. The population of trotter horses bred in Spain could become a connective population in the development of an international genetic evaluation for this sport. This fact is based on the genealogical structure of this population, in which most of the reproducers used come from other trotter populations all around the world by semen or stallion importation and their foals are registered in the studbook of this breed directly; and on the high level of genetic connections shown at animal and stallion level between the races, the hippodromes and the animals' countries of origin.
- II. The methodology of genetic evaluation using a BLUP animal model which is being used routinely with trotter horses in Spain is similar to that used nowadays in the other populations of trotter horses all around the world. The results obtained show that the proposed models fulfil all the necessary requirements to ensure an efficient and objective evaluation of the reproducers based on the different functional selection criteria known and used by the breeders. Nevertheless, the use of a multivariate model, in which the breeding values are weighted in a Genetic Global Index by their importance in the selection of this breed, ensures a maximum correlation with the animals' real functional performance in the races.
- III. In comparison with the proposed BLUP methodology, the application of a Thurstonian model on the performance controls of trotter horses allows us to obtain more reliable estimations of the genetic parameters and breeding values, corrected by the level of competence in each race in which the animals participate.
- IV. The development of Random Regression Models for the genetic evaluation of the Spanish Trotter Horse have shown the existence of variations in the estimated genetic parameters by the age of the animal and the distance of race in which competes. The use of this methodology allows us to estimate the function of evolution of the parameters throughout the trajectory of distances and ages for each animal. The information obtained contributes to a more definite and reliable genetic selection of reproducers based on breeders' needs, by applying specific selection criteria for a specific type of race (short, medium or long distance, differentiating fast or more resistant animals) or for a specific competition strategy (precocious or long-lived animals).
- V. The results obtained by the genetic correlations estimated between each age group for the same distance, using Random Regression Models, have shown that a precocious selection of the animals is possible by their functional performance in the trotter races in which they participate at early ages. This precocious selection contributes to greater genetic progress in the population, to an optimization of the economic cost of training of the animals, and to a reduction of the generation gap that can contribute to a change in the reproductive management of this population.

- VI. For all these advantages, the use of a Random Regression Model for the genetic evaluation of the Spanish Trotter Horses is recommended, until the methodology and the necessary procedures for an world-wide international genetic evaluation of the population of trotter horses are developed.

# Referencias Bibliográficas





## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agüera, E., Sandoval, J., 1999. Anatomía aplicada del caballo. Ed. Harcourt Brace de España, S.A. Madrid.

Anang, A., Mielenz, N., Schuler, L., 2000. Genetic and phenotypic parameters for monthly egg production in White Leghorn hens. *J. Anim. Breed. Genet.* 117, 407-415.

Arnason, Th., 1999. Genetic evaluation of Swedish standard-bred trotters for racing performance traits and racing status. *J. Anim. Breed. Genet.* 116, 387-398.

Arnason, Th., 2001. Trends and asymptotic limits for racing speed in standardbred trotters. *Livest. Prod. Sci.* 72 (1-2), 135-145.

Arnason, T., Ricard, A., 2001. Methods for international genetic evaluations of sport horses. Proceedings of the 52<sup>nd</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production. 26-29 August 2001. Budapest, Hungary.

Arnason, T., Darenius, A., Philipsson, J., 1982. Genetic selection indices for Swedish trotter broodmares. *Livest. Prod. Sci.* 8, 557-565.

Arnason, Th., Bendroth, M., Philipsson, J., Henriksson, K., Darenius, A., 1989. Genetic evaluation of Swedish trotters. In: Langlois, B. (Ed). State of breeding evaluation in trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Helsinki 1988, vol 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.

Azor, P.J., Valera, M., Gómez, M.D., Goyache, F., Molina, A., 2007. Genetic characterization of the Spanish Trotter horse breed using microsatellite markers. *Genet. Molec. Bio.* 30 (1), 37-42

Bakhtiari J., Kashan N.E.J., 2009. Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livest. Sci.* 120, 151-157.

Bilal, G., Khan, M.S., 2009. Use of test-day milk yield for genetic evaluation in dairy cattle: a review. *Pakistan Vet. J.* 29 (1), 35-41.

Bokor, A., Blouin, C., Langlois, B., Stefler, J., 2005. Genetic parameters of racing merit of Thoroughbred horses in steeplechase races. *Ital. J. Anim. Sci.* 4 (3), 43-45.

Breda, F.C., Albuquerque, L.G., Euclides, R.F., Bignardi, A.B., Baldi, F., Torres, R.A., Barbosa, L., Tonhati, H., 2010. Estimation of genetic parameters for milk yield in Murrah buffaloes by Bayesian inference. *J. Dairy Sci.* 93 (2), 784-791.

Bugislaus, A.E., Röhe, R., Geyer, I., Kalm, E., 2002. Estimation of genetic parameters for racing performances in German Trotter after consideration of individual races. Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 19-23 August 2002, Montpellier, France.

- Bugislaus, A.E., Roehe, R., Kalm, E., 2005<sup>a</sup>. Comparison of two different statistical models considering individual races or racetracks for evaluation of German trotters. *Livest. Prod. Sci.* 92 (1), 69-76.
- Bugislaus, A.-E., Roehe, R., Willms, F., Kalm, E., 2005<sup>b</sup>. Multivariate genetic analysis to account for preselection and disqualified races in the genetic evaluation of racing performances in German trotters. *Acta Agric. Scand. - Section A: Animal Science* 55 (2-3), 49-56.
- Bugislaus, A.E., Röhe, R., Willms, F., Kalm, E., 2006. The use of a random regression model to account for change in racing speed of German trotters with increasing age. *J. Anim. Breed. Genet.* 123, 239-246.
- Bujosa, F., 2001. El trote en las Illes Balears. In: Amengual, C., Payeras, L., 2001. Libro de caballería de las Illes Balears. Ed. Turismo Cultural Illes Balears. Palma de Mallorca. España.
- Burns, E.M., Enns, R.M., Garrick, D.J., 2004. The status of equine genetic evaluation. *Proceedings Western Section, Amer. Soc. Anim. Sci.* 55, 82-86.
- Culbertson, M.S., Mabry, J.W., Misztal, I., Gengler, N., Bertrand, J.K., Varona, L., 1998. Estimation of Dominance Variance in Purebred Yorkshire Swine. *J. Anim. Sci.* 76 (2), 448-451.
- De Jong, G., 1995. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. *American Naturalist* 145 (4), 493-512.
- Ekiz, B., Kocak, O., 2005. Phenotypic and genetic parameters estimates for racing traits of Arabian horses in Turkey. *J. Anim. Breed. Genet.* 122, 349-356.
- Faostat, 2010. <http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor>
- Gianola, D., Simianer, H.A., 2006. A Thurstonian model for quantitative genetic analysis of ranks: a Bayesian approach. *Genetics* 174, 1613-1624.
- Gómez, M.D., Cervantes, I., Molina, A., Moll, P., Valera, M., 2007. Genetic evaluation of Spanish Purebred Trotters' performance. *Proceedings of the 58<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for Animal Production. 26-29 August 2007, Dublín, Ireland.*
- Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., Medina, C., Bartolomé, E., Cervantes, I., Carreras, A.J., Moll, P., 2008. Catálogo de Reproductores de Raza Trotador Español 2008. Ed. ASTROT. España.
- Gómez, M.D., Cervantes, I., Molina, A., Medina, C., Valera, M., 2009. Influence of the foreign Trotter populations in the Spanish Trotter Horse assessed via pedigree analysis. *Proceedings of the 60<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for Animal Production. 24-27 August 2009, Barcelona, Spain.*
- Gómez, M.D., Valera, M., Molina, A., 2010. Genetic analysis of racing performance of trotter horses in Spain. *Livest. Sci.* 127, 197-204

- Grosso, J.L.B.M., Balieiro, J.C.C., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., Mattos, E.C., Michelan Filho, T., Felício, A.M., Rezende, F.M., 2009. Estimates of genetic trend for carcass traits in a commercial broiler line. *Genet. Molec. Res.* 8 (1), 97-104.
- Henery, R. J., 1981. Permutation probabilities as models for horse races. *J. R. Stat. Soc. B* 43, 86-91.
- Henderson Jr., C.R., 1982. Analysis of covariance in the mixed model: higher level, nonhomogeneous, and random regressions. *Biometrics* 38, 623-640.
- Hill, W.G., Brotherstone, S., 1999. Advances in methodology for utilizing sequential records. *British Soc. Anim. Sci.* 24, 55– 61.
- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz, M., Tonhati, H., Bignardi, A., Restrepo, L., Aspilcuelta, R., 2009. Estimates of genetic parameters for test-day using a random regression model for first lactations of buffalo in Colombia north coast. *Livestock Research for Rural Development* 21 (6), (<http://www.lrrd.org/lrrd21/6/hurt21089.htm>)
- Interstallion, 2008. Recommendations on choice of scale and reference population for publication of breeding values in sport horse breeding. <http://wbfsh.1point.nl/docs/interst/publicationscale.pdf>. accessed April 4th, 2008.
- Jamrozik, J., Schaeffer, L.R., 1997. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for production of first lactation Holsteins. *J. Dairy Sci.* 80, 762-770.
- Jamrozik, J., Schaeffer, L.R., Weigel, K.A., 2002. Genetic evaluation of bulls and cows with single- and multiple-country test-day models. *J. Dairy Sci.* 85, 1617-1622.
- Jorjani, H., Emanuelson, U., Fikse, W.F., 2005. Data sub-setting strategies for estimation of across country genetic correlations. *J. Dairy Sci.* 88, 1214-1224.
- Kariuki, C.M., Ilatsia, E.D., Wasike, C.B., Kosgey, I.S., Kahi, A.K., 2010. Genetic evaluation of growth of Dorper sheep in semi-arid Kenya using random regression models. *Small Ruminant Research* (2010), doi:10.1016/j.smallrumres.2010.05.011.
- Katona, O., 1979. Genetical-statistical analysis of traits in the German Trotter. *Livest. Prod. Sci.* 6, 407-412.
- Katona, O., 1985. Research in breeding of the trotter. Paper Presented at the 36<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production, Kallithea, Greece.
- Katona, O., Osterkorn, K., 1977. Genetic-statistical análisis of racing time in German trotter population. *Suchtungskinde* 49, 185-192.
- Katona O., Distl O., 1989. Sire evaluation in German trotter (standardbred) population. In: B. Langlois, (Ed), *State of Breeding Evaluation in Trotters*. EAAP Publ. No 42. Wageningen Pers, Wageningen, pp. 55–61.
- Kirkpatrick, M., Lofsvold, D., Bulmer, M., 1990. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. *Genetics* 124, 979-993.

- Klemetsdal, G., 1989. Norwegian trotter breeding and estimation of breeding values. In: Langlois, B. (Ed). State of breeding evaluation in trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Helsinki 1988, vol 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Klemetsdal, G., 1994. Application of standardized, accumulated transformed earnings in breeding of Norwegian trotters. *Livest. Prod. Sci.* 38, 245–253.
- Laird, N.M., Ware, J.H., 1982. Random effects models for longitudinal data. *Biometrics* 38, 963– 974.
- Langlois, B., 1975. Analyse statistique et génétique des gains des Pur Sang anglais de trois ans dans les courses plates françaises. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 7, 387-408.
- Langlois, B., 1980. Estimation de la valeur génétique des chevaux de sport d'après les sommes gagnées dans lescompétitions équestres françaises. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 12, 15-31.
- Langlois, B., 1983. Quelques réflexions au sujet de l'utilisation du gain pour apprécier les performances des chevaux Trotteurs. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Spain 1983, EAAP Publication, Pudoc, Wageningen
- Langlois, B., 1984<sup>a</sup>. L'heritabilité des performances chez le trotteur. Une revue bibliographique. *Genet. Sel. Evol.* 14 (3), 399-414.
- Langlois, B., 1984<sup>b</sup>. Héritabilité et sumarized s génétiques des temps records et des gains établs par les trotteurs Frnaçais de 2 à 6 ans. Proceedings of the 35<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production, 6-9 August 1984. The Netherlands.
- Langlois, B., 1989<sup>a</sup>. State of Breeding Evaluation in Trotters, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42, EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Langlois, B., 1989<sup>b</sup>. Breeding evaluation of French trotters according to their race earnings. 1. Present situation. In: B. Langlois, Editor, State of Breeding Evaluation in Trotters, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42, EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Langlois, B., Blouin, C., 1997<sup>a</sup>. Effect of a horse's month of birth on its future sport performance. I. Effect on annual phenotypic indices. *Ann. Zootech.* 46, 393-398.
- Langlois, B., Blouin, C., 1997<sup>b</sup>. Effect of a horse's month of birth on its future sport performance. II. Effect on annual earnings and annual earnings per start. *Ann. Zootech.* 47, 67-74.
- Langlois, B., Blouin, C., 2004. Practical efficiency of breeding value estimation base don annual earnings of horses for jumping, trotting and galloping races in France. *Livest. Prod. Sci.* 87, 99-107.
- Langlois, B., Blouin, C., 2006. Annual, career or single race records for breeding value estimation in race horses. *Livest. Sci.* 107 (2–3), 132–141.

- Langlois, B., Blouin, C., 2008. How the study of the number of starts and the starting status can inform about selection bias when using earnings for breeding evaluations in race horses. Proceedings of the 59<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production. 27 August 2008. Vilnius. Lithuania.
- Langlois, B., Vrijenhoek, T., 2004. Qualification status and estimation of breeding value in French trotters. *Livest. Prod. Sci.* 89, 187-194.
- Leleu, C., Cotrel, C., Barrey, E., 2003. Effect of age on locomotion of standardbred trotters in training. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 1 (2), 107-117.
- Leroy, P.L., Kafidi, N., Bassleer, E., 1989. Estimation of breeding values of Belgian trotters using animal model. In: Langlois, B. (Ed). State of breeding evaluation in trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Helsinki 1988, vol 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Lewczuk, D., 2007. The effect of training on linear jumping parameters in young stallions. *Equine Comp. Exer. Phys.* 4, 159-165.
- Lidauer, M.H., Emmerling, R., Mantysaari, E.A., 2008. Multiplicative random regression model for heterogeneous variance adjustment in genetic evaluation for milk yield in Simmental. *J. Anim. Breed. Genet.* 125 (3), 147-159.
- Lujosa, F., 2001. El trote en las Illes Balears. En: Libro de Caballería de las Illes Balears. Ed. Turisme cultural Illes Balears. Palma de Mallorca. España.
- Mark, T., Madsen, P., Jensen, J., Fikse, W.F., 2005. Prior (co)variances can improve multiple-trait across-country evaluations of weakly linked bull populations. *J. Dairy Sci.* 88, 3290-3302.
- MARM, 2010. Comunicación personal.
- Martí, J., 1995. Història del trot a les Balears. Ed. Promomallorca. Palma de Mallorca. España.
- Meinardus, H., Bruns, E., 1987. BLUP procedures in riding horses based on competition results. Proceedings of the 38<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production, September 28-October 1 1987. Lisbon. Portugal.
- Menendez-Buxadera, A.M., Mota, M.D.S., 2008. Variance component estimations for race performance of Thoroughbred horses in Brazil by random regression model. *Livest. Sci.* 117, 298-307.
- Menéndez-Buxadera, A., Molina, A., Arrebola, F., Gil, M.J., Serradilla, J.M., 2010. Random regression analysis of milk yield and milk composition in the first and second lactations of Murciano-Granadina goats. *J. Dairy Sci.* 93 (6), 2718-2726.
- Meyer, K., 2004. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. *Livest. Prod. Sci.* 86, 69-83.
- Minkema, D., 1975. Studies on the genetics of trotting performance in Dutch Trotters.I. The heritability of trotting performance. *Ann. Genet. Sel. Anim.* 7, 99-121.

- Minkema, D., 1989. Breeding value estimation of trotters in Netherlands. In: Langlois, B. (Ed). State of breeding evaluation in trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Helsinki 1988, vol 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Molina, A., Menéndez-Buxadera, A., Valera, M., Serradilla, J.M., 2007. Random regression model of growth during the first three months of age in Spanish Merino sheep. *J. Anim. Sci.* 85 (11), 2830-2839.
- Mota, M.D.S., 2006. Genetic correlation between performances at different racing distances in Thoroughbreds. *Livest. Sci.* 104, 227-232.
- Nadarajah, K., Burnside, E.B., Schaeffer, L.R., 1988. Genetic parameters for fertility of dairy bulls. *J. Dairy Sci.* 71 (10), 2730-2734.
- Ojala, M., 1987. Heritabilities of annually summarized race records in trotters. *J. Anim. Sci.* 64, 117-125.
- Ojala, M., 1989. Breeding evaluation of trotters in Finland. In: Langlois, B. (Ed.), State of Breeding Evaluation in Trotters, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 18-26.
- Ojala, M., van Vleck, L.D., 1981. Measures of racetrack performance with regard to breeding evaluation of trotters. *J. Anim. Sci.* 53 (3), 611-619.
- Ojala, M., Hellman, T., 1987. Effect of year, sex, age and breed on annually summarized race records fro trotters in Finland. *Acta. Agric. Scand.* 37, 463-468.
- Ojala, M., Van Vleck, L.D., Quaas, R.L., 1987. Factors influencing best annual racing time in Finnish horses. *J. Anim. Sci.* 64, 109-116.
- Oki, H., Sasaki, Y., 1995. Estimation of Genetic Trend in Racing Time of Thoroughbred Horses in Japan. Equine Research Institute, Setagaya-Ku, Tokyo 154.
- Oki, H., Sasaki, Y., Willham, R.L., 1997. Estimation of genetic correlation between racing times recorded at different racing distances by restricted maximum likelihood in Thoroughbred horses. *J. Anim. Breed. Genet.* 114, 185-189.
- Posta, I., Komlósi, I., Mihók, S., 2009. Breeding value estimation in the Hungarian Sport Horse population. *Vet. J.* 181, 19-23.
- Pöso, J., Ojala, M., 1997. Estimates of genetic parameters of trotting performance traits for repeated annual records. *Agric. Food Sci. Finl.* 6, 11-18.
- Powers, P.N.R., Kavanagh, A.M., 2005. Effect of rider experience on the jumping kinematics of riding horses. *Equine Comp. Exer. Phys.* 2, 263-267.
- Ptak, E., Schaeffer, L.R., 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. *Livest. Prod. Sci.* 34, 23-34.

- Reents, R., Dekkers, J.C., Schaeffer, L.R., 1995. Genetic evaluation for somatic cell score with a test day model for multiple lactations. *J. Dairy Sci.* 78 (12), 2858-2870.
- Ricard, A., 1997. Breeding evaluations and breeding programmes in France. Proceedings of the 48<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 25–28 August, Vienna, Austria.
- Ricard, A., 1998. Developments in the genetic evaluation of performance traits in horses. Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, NSW, Australia.
- Ricard, A., 2005<sup>a</sup>. Les croisements franco-américains chez le trotteur: une expérience réussie? *INRA, Prod. Anim.* 18 (2), 79–86.
- Ricard, 2005<sup>b</sup>. Standardbred crossbreeding in the French trotter horse population: A successful experiment? *Prod. Anim.* 18 (2), 79-86.
- Ricard, A., Bruns, E., Cunningham, E.P., 2000. Genetics of performance traits. In: The genetics of the horse. Eds. Bowling, A.T., Ruvinsky, A. CABI Publ., Wallingford.
- Robbins, K.R., Misztal, I., Bertrand, J.K., 2005. Joint longitudinal modeling of age of dam and age of animal for growth traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83 (12), 2736-2742.
- Röhe, R., Savas, T., Brka, M., Villms, R., Kalm, E., 2001. Multiple-trait genetic analyses of racing performances of German trotters with disentanglement of genetic and driver effects. *Arch. Tierz.* 44 (6), 579-587.
- Roso, V.M., Schenkel, F.S., Miller, S.P., Schaeffer, L.R., 2005. Estimation of genetic effects in the presence of multicollinearity in multibreed beef cattle evaluation. *J. Anim. Sci.* 83 (8), 1788-1800.
- Rutten, M.J.M., Komen, H., Bovenhuis, H., 2005. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. *Aquaculture* 246 (1-4), 101-113.
- Saastamoinen, M.T., Ojala, M.J., 1991<sup>a</sup>. Some factors of the time of breaking and training affecting racing performance in young trotters. *J. Agric. Sci. Finl.* 63, 483-492.
- Saastamoinen, M.T., Ojala, M.J., 1991<sup>b</sup>. Estimates of genetic and phenotypic parameters for racing performance in young trotters. *Acta Agric. Scand.* 41, 427–436.
- Saastamoinen, M.T., Nylander, A., 1994. Genetic and phenotypic parameters for early career performance and age at the beginning of the career in Standardbred trotters. Proceedings of the 5<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, University of Guelph, 7–12 August, 1994, Guelph, Ontario, Canada.
- Saastamoinen, M.T., Nylander, A., 1996. Genetic and phenotypic parameters for age at starting to race and racing performance during early career in trotters. *Livest. Prod. Sci.* 45, 63–68.
- Schaeffer, L.R., 2004. Application of random regression models in animal breeding. *Livest. Prod. Sci.* 86, 35–45.

- Schaeffer, L.R., Dekkers, J.C.M., 1994. Random regressions in animal models for test-day production in dairy cattle. Proceedings of 5<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, University of Guelph, 7–12 August, 1994, Guelph, Ontario, Canada.
- Sigurdsson, A., Banos, G., Philipsson, J., 1996. Estimation of genetic (co)variance components for international evaluation of dairy bulls. *Acta Agric. Scand.* 46, 129-136.
- Silvestrelli, M., Pieramati, C., Cavalucci, C., Bonanzinga, M., 1995. The current breeding plans for saddle horse, trotter and Thoroughbred in Italy. Proceedings of the 46<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production. 4–7 September 1995, Prague, Czech Republic.
- Sobczynska, M., 2006. Genetic correlations between racing performance at different racing distances in Thoroughbreds and Arab horses. *Czech J. Anim. Sci.* 51, 523–528.
- Swalve, H.H., 1998. Use of test day records for genetic evaluation. Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, NSW, Australia, vol. XXIII, pp. 295– 302.
- Swalve, H.H., 2000. Theoretical basis and computational methods for different test-day genetic evaluation methods. *J. Dairy Sci.* 83, 1115–1124.
- Tavernier, A., 1988. Advantages of BLUP animal model for breeding value estimation in horses. *Livest. Prod. Sci.* 20, 149-160.
- Tavernier, A., 1989<sup>a</sup>. Caractérisation de la population des trotteurs Français d'après leur estimation génétique par un BLUP modèle animal. *Ann. Zootech.* 38, 145-155.
- Tavernier, A., 1989<sup>b</sup>. Breeding evaluation of French trotters according to their race earnings. II Prospects. In: Langlois, B. (Ed). State of breeding evaluation in trotters. Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production. Helsinki 1988, vol 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen.
- Tavernier, A., 1990. Estimation of breeding value of jumping horses from their ranks. *Livest. Prod. Sci.* 26, 277–290.
- Tavernier, A., 1991. Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genet. Sel. Evol.* 23 (1), 59-173.
- Tavernier, A., 1994. Special problems in genetic evaluation of performance traits in horses. Proceedings of the 5<sup>th</sup> world congress on genetics applied to livestock production 17, 450-457.
- Thiruvankadan, A.K., Kandasamy, N., Pannerselvam, S., 2009. Inheritance of racing performance of trotter horses: An overview. *Livest. Sci.* 124 (1-3), 163-181.
- Thorén, E., Jorjani, H., Philipsson, J., 2008. Connectedness among five European sport horse populations. *Livest. Sci.* 118 (1–2), 147–156
- Thuneberg-Selonen, T., Pösö, J., Mäntysaari, E., Ojala, M., 1999. Use of individual race results in the estimation of genetic parameters of trotting performance for Finnhorse and Standardbred trotters. *J. Agric. Sci. Finl.* 8, 353-363.

- Tolley, E.A., Notter, D.R., Marlowe, T.J., 1989. The environmental effects of pace of race and purse for 2- and 3- year-old standardbred trotters. In: Langlois, B. (Ed.), State of Breeding Evaluation in Trotters, Proceedings of the EAAP Symposium of the Commission of Horse Production, Helsinki, 1 July 1988 vol. 42. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, pp. 131–141.
- TRAGSEGA, 2003. Estudio y caracterización del sector equino en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <http://www.eurocarne.com/informes/pdf/sector-equino.pdf>.
- Uribe, H.A., 2001. Test day model: A new statistical tool for genetic evaluation of dairy cattle. *Agric. Téc.* 61 (4). doi: 10.4067/S0365-28072001000400012.
- Valera, M., Bartolomé, E., Cervantes, I., Gómez, M.D., Azor, P.J., Molina, A., 2009. Horse breeding programs in Spain managed by MERAGEM group. Ed. MERAGEM Group. Córdoba. Spain.
- Van der Werf, J. 2001. Random regression in animal breeding, Armidale, Australia. <http://www-personal.une.edu.au/jvanderw/CFcoursenotes.pdf> Accessed May 17, 2007.
- Wiggans, G. R., Goddard, M. E., 1996. A computationally feasible test day model with separate first and later lactation genetic effects. Proceedings of the 56<sup>th</sup> New Zealand Society of Animal Production Annual Meeting, Hamilton, New Zealand.
- Wiggans, G. R., Goddard, M. E., 1997. A computationally feasible test-day model for genetic evaluation of yield traits in the United States. *J. Dairy Sci.* 80, 1795–1800.
- Zumbach, B., Tsuruta, S., Misztal, I., Peters, K.J., 2008<sup>a</sup>. Use of a test day model for dairy goat milk yield across lactations in Germany. *J. Anim. Breed. Genet.* 125 (3), 160-167.
- Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Sánchez, J.P., Azain, M., Herring, W., Holl, J., Long, T., Culbertson, M., 2008<sup>b</sup>. Genetic components of heat stress in finishing pigs: Parameter estimation. *J. Anim. Sci.* 86, 2076–2081.



# Listado de Publicaciones





## 8. LISTADO DE PUBLICACIONES

En esta sección se presenta un listado en el que se recogen todas las publicaciones a las que ha dado lugar esta Tesis Doctoral, a nivel nacional e internacional.

### 8.1. PUBLICACIONES CIENTÍFICAS CON ÍNDICE DE IMPACTO

**Título: Genetic characterization of the Spanish Trotter horse breed using microsatellite markers**

Autores: Azor, P.J.; Valera, M.; **Gómez, M.D.**; Goyache, F.; Molina, A.

Referencia: *Genetics and Molecular Biology* 30 (1): 37-42. 2007

**Título: Application of a random regression model for genetic parameters estimation of race performance in young Spanish Trotter Horses: preliminary analysis**

Autores: **Gómez, M.D.**; Valera, M.; Molina, A.; Menendez-Buxadera, A.

Referencia: *ITEA* 104 (2): 133-138 (2008)

**Título: Genetic analysis of rancing performance of Trotter horse in Spain**

Autores: **Gómez, M.D.**; Valera, M.; Molina, A.

Referencia: *Livestock Science* 127 (2): 197-204 (2010)

**Título: Estimation of genetic parameters for racing speed over different race distances in young and adult Trotter Horses using the Random Regression Model**

Autores: **Gómez, M.D.**; Menendez-Buxadera, A.; Valera, M.; Molina, A.

Referencia: *Journal of Animal Breeding and Genetics* 127 (5): 385-94 (2010)

**Título: Estimation of genetic parameters for the annual earnings at different race distances in young and adult Trotter Horses using a Random Regression Model**

Autores: **Gómez, M.D.**; Molina, A.; Menendez-Buxadera, A.; Valera, M.

Referencia: *Livestock Science* 127 (2): in press (2010). DOI: 10.1016/j.livsci.2010.10.004

## 8.2. OTRAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS (REVISTAS CON REFEREES)

Título: **Sistema de Valoración Genética del Caballo Trotador en Europa.**

Autores: **Gómez, M.D.**; Moll, P.; Roca, B.; Azor, P.J.; Valera, M.

Referencia: Medicina Militar (MedMil) 61 (2): 228-230 (2005)

## 8.3. PUBLICACIONES EN REVISTAS DE DIFUSIÓN

Título: **El caballo Trotador Español: Primera Valoración Genética de su aptitud funcional**

Autores: **Gómez, M.D.**; Molina, A.; Moll, P.; Gual, J.; Valera, M.

Referencia: Revista Oficial de CECCA (Confederación Española de Organizaciones de Criadores de Caballos con Libro de Registro Oficial de la Raza) 1: 42-45 (2006)

## 8.4. LIBROS, CAPÍTULOS DE LIBROS Y PROCEEDING DE CONGRESOS

Título: **Catálogo de Reproductores de Raza Trotador Español 2008**

Autores: **Gómez, M.D.**; Valera, M.; Molina, A.; Medina, C.; Bartolomé, E.; Cervantes, I.; Carreras, A.J.; Moll, P.

ISBN: 978-84-930683-7-0

Editorial: ASTROT

Título: **First breeding evaluation of Spanish Trotters**

Autores: **Gómez, M.D.**; Pieramati, C.; Cervantes, I.; Azor, P.J.; Molina, A. and Valera, M.

ISBN: 9954-8641-0-5

Editorial: Bakkoury M and Dakkak

## 8.5. COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES

Título: **El caballo Trotador Español: Promoción de una raza para el deporte.**

Autores: Moll, P.; Roca, B.; **Gómez, M.D.**; Azor, P.J.; Alcalde, M.J.; Horcada, A.; Valera, M.

Presentado en: III Jornadas Ibéricas de Raças Autóctones e produtos tradicionais. 25-26 de Noviembre. Elvas (Portugal). 2005.

Título: **Genetic evaluation of Spanish Purebred Trotters' performance**

Autores: **Gómez, M.D.**; Cervantes, I.; Molina, A.; Moll, P.; Valera, M.

Presentado en: 58<sup>th</sup> Annual Meeting of the european Association for Animal Production. 26-29 de Agosto. Dublín (Irlanda). 2007.

Título: **Application of a random regression model for the estimation of variance components for race performance in young Trotter horses in Spain: preliminary analysis**

Autores: **Gómez, M.D.**; Menéndez-Buxadera, A.; Molina, A.; Valera, M.

Presentado en: 59<sup>th</sup> Annual Meeting of the european Association for Animal Production. 24-27 de Agosto. Vilnius (Lituania). 2008.

Título: **Influence of the foreign Trotter populations in the Spanish Trotter Horse assessed via pedigree analysis.**

Autores: **Gómez, M.D.**; Cervantes, I.; Molina, A.; Medina, C.; Valera, M.

Presentado en: 60<sup>th</sup> Annual Meeting of the european Association for Animal Production. 24-27 de Agosto. Barcelona (España). 2009.

Título: **A thurstonian model for the analysis of ranks in the genetic evaluation of horses.**

Autores: **Gómez, M.D.**; Varona, L.; Molina, A.; Valera, M.

Presentado en: 60<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for Animal Production. 24-27 de Agosto. Barcelona (España). 2009.

Título: **Early selection of Spanish Trotter Horses: Genetic correlations between race performance in young and adult horses.**

Autores: **Gómez, M.D.**; Menéndez-Buxadera, A.; Valera, M.; Molina, A.

Presentado en: 60<sup>th</sup> Annual Meeting of the european Association for Animal Production. 24-27 de Agosto. Barcelona (España). 2009.

## 8.6. COMUNICACIONES A CONGRESOS NACIONALES

**Título:** Sistema de Valoración Genética del Caballo Trotador en Europa.

**Autores:** Gómez, M.D.; Moll, P.; Roca, B.; Azor, P.J.; Valera, M.

**Presentado en:** IX Jornadas Científicas de Veterinaria Militar. 2-3 de Junio. Madrid. 2005.

**Título:** Estudio de las líneas genéticas del caballo Trotador Español a partir de marcadores de ADN.

**Autores:** Azor, P.J. Gómez, M.D.; Moll, P.; Membrillo, A.; Valera, M.

**Presentado en:** IX Jornadas Científicas de Veterinaria Militar. 2-3 de Junio. Madrid. 2005.

**Título:** Aplicación de un modelo de regresión aleatoria para la estimación de los parámetros genéticos del rendimiento deportivo en caballos jóvenes de la raza Trotador Español: Resultados preliminares.

**Autores:** Gómez, M.D.; Valera, M.; Molina, A.; Menendez-Buxadera, A.

**Presentado en:** XIV Reunión Nacional de Mejora Genética Animal. 19-21 junio. Sevilla. 2008.

**Título:** Evaluación Genética del Caballo Trotador Español mediante un modelo Thrustoniano.

**Autores:** Gómez, M.D.; Varona, L.; Valera, M.; Molina, A.

**Presentado en:** XIII Jornadas de Producción Animal. 12-13 de Mayo. Zaragoza. 2009

## 8.7. INFORMES TÉCNICOS AL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

**Título:** Puesta en marcha del Esquema de Selección para el Caballo Trotador Español

**Autores:** Valera, M., Gómez, M.D., Molina, A.

**Año de realización:** 2004-2006

**Título:** Gestión genética del Esquema de Selección para el Caballo Trotador Español

**Autores:** Valera, M., Gómez, M.D., Cervantes, I., Azor, P.J., Molina, A.

Año de realización: 2007-2008

**Título: Evaluación genética de la Raza Equina Trotador Español en su aptitud funcional para el trote**

Autores: Valera, M., Gómez, M.D., Cervantes, I., Medina, C., Molina, A.

Año de realización: 2008-2009

**Título: Selección y mejora de la Raza Trotador Español: Valoración de Reproductores a partir de controles de rendimientos en carreras de trote a través de metodología BLUP y de Regresión Aleatoria.**

Autores: Valera, M., Gómez, M.D., Menendez-Buxadera, A., Medina, C., Molina, A.

Año de realización: 2009-2010

**Título: Mejora genética de la Raza Equina Trotador Español: Valoración Genética de Reproductores y Análisis de la Estructura Genética de la población.**

Autores: Valera, M., Gómez, M.D., Cervantes, I., Molina, A.

Año de realización: 2010









